

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1329<sup>\*,\*\*</sup>**Compartición de frecuencias de las bandas 19,7-20,2 GHz y 29,5-30,0 GHz  
entre los sistemas del servicio móvil por satélite y  
del servicio fijo por satélite**

(Cuestión UIT-R 81/4)

(1997)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que la Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones para examinar la atribución de frecuencias en ciertas partes del espectro (Málaga-Torremolinos, 1992) (CAMR-92) efectuó atribuciones con carácter primario al servicio móvil marítimo (SMS) en las bandas 19,7-20,1 GHz y 29,5-29,9 GHz, en la Región 2 y 20,1-20,2 GHz y 29,9-30,0 GHz, en las tres Regiones;
- b) que las CAMR anteriores habían atribuido estas bandas al servicio fijo por satélite (SFS) con carácter primario;
- c) que la CAMR-92 adoptó la Recomendación N.º 719 en la cual se recomienda «que se hagan estudios con carácter urgente sobre las características técnicas, principalmente las referidas a técnicas de puntería, de las redes de satélites multiservicio,<sup>\*\*\*</sup> en las que intervienen redes de satélites geoestacionarios, que abarcan aplicaciones de los servicios móvil por satélite y fijo por satélite y sobre los criterios de compartición necesarios para garantizar la compatibilidad con el servicio fijo por satélite en las bandas de frecuencias indicadas anteriormente»;
- d) que la Asamblea de Radiocomunicaciones de 1993 aprobó la Cuestión UIT-R 81/4, dándole prioridad;
- e) que las redes de propiedad y explotación separada pueden incluir satélites que pertenecen únicamente al SFS, satélites que sólo pertenecen al SMS y satélites de servicio doble (es decir, del SFS y del SMS), y que cada uno de estos tres tipos de red puede tener que compartir las bandas con uno o ambos de los otros dos tipos;
- f) que en 1997 estaban coordinándose más de 180 redes del SFS de satélites geoestacionarios (OSG) en 20/30 GHz;
- g) que con la tecnología de algunas redes del SFS OSG planificadas actualmente se pueden aceptar separaciones de 2° de arco con anchuras del haz de la antena de enlace ascendente iguales o inferiores a 1°;
- h) que las redes del SMS OSG estudiadas originalmente requieren una separación mayor de 2° respecto al SFS OSG con las mismas frecuencias y cobertura para dar protección necesaria al SMS,

---

\* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 8 de Radiocomunicaciones.

\*\* La Comisión de Estudio 4 de Radiocomunicaciones efectuó modificaciones de redacción en esta Recomendación en 2001 de conformidad con la Resolución UIT-R 44 (AR-2000).

\*\*\* Este término se emplea aquí refiriéndose a satélites equipados para funcionar en más de una categoría de servicio.

*recomienda*

1 que en la planificación y desarrollo de los sistemas del SFS, del SMS y de servicios dobles para la utilización de la OSG y la explotación en las bandas de frecuencia mencionadas, se tenga en cuenta la información sobre las características técnicas y criterios de protección contra la interferencia de dichos sistemas que figuran en el Anexo 1;

2 que las nuevas redes planificadas del SFS OSG y del SMS en las bandas 29,5-30,0 y 19,7-20,2 GHz tengan en cuenta las características técnicas del SFS descritas en el Anexo 2 y las características del SMS que está estudiando la Comisión de Estudio 8 de Radiocomunicaciones en el marco de la Cuestión UIT-R 104/8.

NOTA 1 – Se insta a las administraciones a presentar nuevas contribuciones sobre el tema al que se refieren los Anexos 1 y 2, especialmente en lo que se refiere a los parámetros de los sistemas planificados o futuros que se pretende explotar en las bandas mencionadas.

## ANEXO 1

### **Compartición de frecuencias entre las redes del SFS y el SMS en las bandas de 30/20 GHz**

#### **1 Introducción**

La CAMR-92 adoptó la Recomendación N.º 719 para la realización de estudios sobre las características técnicas de las redes de satélites multiservicio en 30/20 GHz y sobre los criterios de compartición necesarios para su compatibilidad con el SFS.

Se ha realizado una labor considerable en este sentido, habiendo presentado diversas administraciones contribuciones a las reuniones anuales del Grupo de Trabajo 4A de Radiocomunicaciones. En la cuarta reunión del Grupo de Trabajo 4A de Radiocomunicaciones de noviembre de 1993 se presentaron una serie de contribuciones, incluyendo algunas que proponían la utilización de acceso múltiple por división de código (AMDC) como técnica de acceso múltiple que podría contribuir a simplificar la situación de compartición. Hubo cierta oposición a esta propuesta sobre la base de que la utilización del AMDC puede presentar ciertos inconvenientes desde el punto de vista del operador del servicio móvil. Por ejemplo, un problema particular puesto de relieve era el del efecto del control de potencia en los sistemas AMDC y en su capacidad. El texto del presente Anexo se basa en una amplia gama de contribuciones e incluye algunas consideraciones de detalle sobre los diversos aspectos del AMDC, el control de potencia y otros parámetros de los sistemas en 30/20 GHz.

#### **2 Algunos aspectos de la tecnología actual del SMS**

En este punto se describen ciertos aspectos claves de la tecnología del SMS que han de considerarse detalladamente antes de elaborar un análisis fiable de la eficacia orbital y del potencial de compartición. Tras un breve examen de algunas teorías fundamentales relativas a los sistemas AMDC, se examinan algunos aspectos prácticos a base de la información disponible sobre algunos sistemas planificados para el futuro en la banda 30/20 GHz. Hay que hacer hincapié en que no se trata en absoluto de un examen completo y definitivo. No obstante, se llega a resultados que permiten extraer conclusiones útiles.

## 2.1 Sistemas de satélite con AMDC

Hay dos formas de AMDC, el AMDC con salto de frecuencia (FH-AMDC (en inglés: FH-CDMA)) y el AMDC de secuencia directa (DS-AMDC (en inglés: DS-CDMA)). Por razones económicas, la utilización del FH-AMDC se limita generalmente a los sistemas militares, por lo que aquí se examina únicamente el DS-AMDC. Las señales AMDC pueden transmitirse/recibirse utilizando dos métodos fundamentales (aunque la separación entre estos métodos no es muy clara por el hecho de la existencia del AMDC cuasi-síncrono). Los dos métodos básicos son el AMDC asíncrono y el síncrono. En un sistema AMDC asíncrono un usuario puede transmitir información sin prestar atención particular al estado de su secuencia de segmentos única. En el AMDC síncrono se transmite un código principal que se recibe en cada estación del sistema. Este código principal, entre otras cosas, permite a cada estación transmisora sincronizar sus segmentos de código y ayuda a las estaciones receptoras en la adquisición de los segmentos de código de entrada deseados. Como todas las estaciones transmisoras están sincronizadas, los productos de transcorrelación de sus códigos se mantienen en un mínimo (especialmente si se utilizan códigos de transcorrelación reducidos, es decir, códigos Gold), con lo que se minimiza el ruido propio del sistema, lo que implica llevar al máximo la capacidad de éste. No obstante, en un sistema síncrono, es más difícil lograr la sincronización inicial con el código deseado, debido a la pequeña relación señal/ruido que se produce por la falta de sincronismo.

### 2.1.1 Número máximo teórico de accesos

Considérese un sistema AMDC de secuencia directa (DS-AMDC) con  $m$  portadoras recibidas de igual potencia  $C$ . La potencia útil de la portadora a la entrada del receptor es por tanto  $C$  si  $E_b$  es la energía por bit de información y  $R_b$  es la velocidad binaria de dicha información:

$$C = E_b R_b \quad (1)$$

La potencia de ruido total a la entrada del receptor (cuya anchura de banda es  $B$ ) viene dada por la suma de la potencia de ruido propia del sistema generada por  $(m - 1)$  usuarios, la potencia de ruido térmico y cualquier otra potencia de ruido interferente:

$$N_0 B = (m - 1) C + N_{0TH} B + I \quad (2)$$

Así pues, utilizando las dos ecuaciones:

$$\begin{aligned} C/I &= \frac{E_b R_b}{N_0 B - (m - 1) C - N_{0TH} B} \\ &= \frac{1}{\left( \frac{N_0 B}{E_b R_b} \right) - (m - 1) - \left( \frac{N_{0TH} B}{C} \right)} \end{aligned} \quad (3)$$

Para una portadora de velocidad binaria  $R_c$ , la eficacia espectral de la modulación viene dada por:

$$\Gamma = \frac{R_c}{B} \quad (4)$$

La ganancia de procesamiento de un sistema AMDC se define como:

$$F \Delta \frac{R_c}{R_b} \quad (5)$$

Combinando estas tres ecuaciones y ordenando los términos:

$$m = 1 + \frac{F}{\Gamma (E_b/N_0)} - \frac{1}{(C/I)} - \frac{1}{(C/N_{TH})} \quad (6)$$

Esta ecuación muestra cómo puede aceptarse un aumento de la interferencia externa en un sistema AMDC reduciendo la capacidad del sistema. Para una determinada  $E_b/N_0$  requerida y suponiendo que  $C/I$  y  $C/N_{TH}$  son despreciables en comparación con el ruido propio, el número máximo de accesos simultáneos es:

$$m_{\max} = 1 + \frac{F}{\Gamma (E_b/N_0)} \quad (7)$$

Hay que señalar que este límite es casi inversamente proporcional a  $E_b/N_0$ . El AMDC presenta la singularidad entre los tres métodos de acceso de que una disminución de la calidad del sistema puede servir para aceptar un aumento de la capacidad sin cambiar ninguno de los otros parámetros del sistema (véase el párrafo a) del § 2.1.2) y viceversa.

Para obtener la ecuación (7) se han adoptado diversas hipótesis:

- las contribuciones al ruido del ruido térmico y de cualquier ruido de interferencia externa se desprecian, tal como se ha señalado;
- todas las potencias de portadora a la entrada del receptor son iguales, como también se ha indicado;
- el receptor va enganchado y sigue perfectamente la frecuencia de la señal entrante;
- el receptor está perfectamente sincronizado con los segmentos de entrada.

Véase que en los sistemas digitales con limitación de potencia la capacidad es proporcional a la potencia y un sistema típico permite al ruido más la interferencia exterior reducir la capacidad en un 10% aproximadamente, respecto al máximo teórico. De esta cifra, el 2,5% aproximadamente es debido a la interferencia exterior acumulada. Se supone aquí, por tanto, que *la reducción básica de la capacidad teórica del sistema AMDC para tener en cuenta la interferencia exterior y el ruido térmico es del 10% (margen del 7,5% del ruido térmico y del 2,5% de interferencia exterior)*.

### 2.1.2 Algunas ventajas de la utilización del AMDC en aplicaciones particulares

Muchos textos demuestran que el AMDC permite un caudal pequeño en comparación con el acceso múltiple por división en frecuencia (AMDF) y, especialmente, con el acceso múltiple por división en tiempo (AMDT). A pesar de ello, el AMDC puede presentar ventajas de compensación respecto al AMDF y al AMDT en algunas aplicaciones particulares. A continuación se resumen algunas de las ventajas más habituales que favorecen la utilización del AMDC, incluso con la reducida capacidad que ofrece:

- a) En condiciones de sobrecarga, la calidad del sistema AMDC se degrada suavemente, es decir, al permitir un aumento temporal de la proporción de bits erróneos (BER), se dispone temporalmente de mayor capacidad. A la inversa, si en cualquier momento la carga del sistema es realmente inferior a la carga máxima, la calidad del enlace mejora (en términos de la BER) en comparación con la de un sistema plenamente cargado.
- b) La activación por la voz puede aplicarse fácilmente en los sistemas que utilizan el AMDC como método de acceso múltiple. El AMDC con activación por la voz permite el acceso múltiple con asignación por demanda simultánea (AMAD) de la anchura de banda de un transpondedor y de su potencia.

- c) El AMDC reduce cada una de las densidades espectrales de potencia (DEP) transmitidas del terminal con lo que reduce su potencial de interferencia en las portadoras de anchura de banda más pequeña. Un sistema DS-AMDC dispersa el espectro de banda de base del terminal en una gran anchura de banda, con lo que reduce su DEP en una cantidad igual a la ganancia de procesamiento del sistema AMDC. Ésta es una propiedad muy útil cuando un sistema AMDC comparte frecuencias con sistemas terrenales, especialmente si el sistema AMDC tiene terminales móviles con anchura de haz pequeña y antenas de pequeño diámetro.
- d) Una señal AMDC, como no tiene un umbral acusado, actuará mejor en un entorno de desvanecimientos/apantallamientos, debido al enmascaramiento simultáneo de las señales deseada e interferente (en comparación con el AMDF) y debido a su inferior sensibilidad a la propagación multitrayecto. Las señales multitrayecto se acumularán de forma positiva o negativa con la señal deseada. Si se acumulan de forma negativa, se muestran simplemente como un mayor ruido del sistema que reduce la correlación con la señal deseada en el receptor.

### 2.1.3 Adquisición y sincronización

Una de las ventajas del AMDC en el seguimiento de frecuencias es su relativa inmunidad a la deriva Doppler. No obstante, los tres problemas fundamentales de un sistema AMDC son la adquisición inicial, la sincronización y el seguimiento del segmento de código deseado y de la frecuencia de transmisión. Estos problemas se han estudiado minuciosamente y actualmente se pueden superar utilizando el procesamiento de la señal.

### 2.1.4 Efecto de la imperfección del control de potencia

Otro problema que puede estudiarse al considerar la utilización del AMDC en frecuencias de 30/20 GHz es el efecto del control de potencia. En un sistema AMDC ideal, toda señal transmitida tendrá la misma potencia de portadora a la entrada del receptor. De hecho, ésta es una de las hipótesis básicas adoptadas al desarrollar anteriormente la ecuación de la capacidad del AMDC. De esta ecuación puede verse que la capacidad del sistema es inversamente proporcional, aproximadamente, a  $E_b/N_0$ , que puede de hecho relacionarse con la potencia de la portadora recibida. Así pues, desde un punto de vista cualitativo, a partir de la ecuación, a medida que aumenta la relación  $E_b/N_0$  requerida, disminuye la capacidad máxima del sistema. En un sistema real, hay una serie de factores que pueden actuar por separado o combinarse y que dan lugar a diferencias de las potencias de portadora de la señal recibida. Estos factores son:

- control de potencia del transmisor;
- desvanecimientos por la lluvia;
- efectos geográficos debidos a la discriminación de la antena del satélite y a las distintas atenuaciones del trayecto en el espacio libre;
- enmascaramiento y bloqueo (para los terminales móviles);
- falta de puntería de la antena (no es especialmente importante cuando se consideran antenas móviles de gran anchura de haz, pero constituye un problema en las antenas de pequeña anchura de haz montadas en vehículos);
- movimiento del satélite (no es un gran problema con los satélites geoestacionarios).

Para superar estos factores e igualar, en la medida de lo posible, todas las potencias de portadora de la señal en el receptor, debe aplicarse algún tipo de control de la potencia del trayecto ascendente en cada transmisor. Ello implica que cada terminal terreno de un sistema AMDC debe incorporar:

- algún método de comprobación de la densidad de flujo de potencia (dfp) en el satélite;
- un transmisor con potencia de salida ajustable en una cierta gama predeterminada.

Véase que aunque el sistema de control de potencia de terminal terreno sea bueno, habrá siempre errores que se traduzcan en intensidades de señal recibidas distintas, al menos por lo debido a los retardos temporales inherentes a la utilización de satélites geoestacionarios y a las diferencias de los desvanecimientos de propagación en el trayecto ascendente y en el descendente. Para describir estos errores se utiliza el término «control de potencia imperfecto». Ha habido muchos estudios sobre el efecto de la imperfección del control de potencia (en ocasiones denominado «efecto lejano-próximo») de los sistemas terrenales celulares. No obstante, debido a las diferencias fundamentales entre las características del canal de los sistemas terrenales y de satélite (incluyendo los distintos retardos temporales y los diferentes entornos de propagación), estos estudios no arrojan gran luz sobre los efectos de la imperfección del control de potencia en los sistemas AMDC de satélite. El desarrollo que se indica a continuación examina los efectos del control de potencia imperfecto en la capacidad de un sistema AMDC de satélite.

Considérese un usuario único, denominado usuario 1, en un sistema DS-AMDC *asíncrono* (lo que constituye una hipótesis de peor caso). La densidad espectral de potencia de la del ruido propio del sistema total,  $I_{0SN}$ , vista por el usuario 1, es:

$$\begin{aligned} I_{0SN} &= \frac{I_{SN}}{B} \\ &= \frac{I_{SN}}{R_c/\Gamma} \\ &= \frac{I_{SN} \Gamma}{R_b F} \end{aligned} \quad (8)$$

siendo:

$$I_{SN} = \sum_{i=2}^m C_i \quad (9)$$

El ruido total, DEP,  $N_0$ , viene dado por la suma de la interferencia del ruido propio del sistema DEP,  $I_{0SN}$ , la del ruido térmico DEP,  $N_{0TH}$ , y cualquier otra interferencia exterior, DEP,  $I_0$ . Así pues, la relación  $E_b/N_0$  de la señal del usuario 1 es:

$$\begin{aligned} \frac{E_{b1}}{N_0} &= \frac{E_{b1}}{I_{0SN} + N_{0TH} + I_0} \\ &= \frac{E_{b1}}{\left( \frac{I_{SN} \Gamma}{R_b F} \right) + N_{0TH} + I_0} \end{aligned} \quad (10)$$

Para que el usuario 1 mantenga una BER requerida, se necesita una cierta  $E_b/N_0$  (que depende del esquema de codificación utilizado). Este valor de  $(E_b/N_0)_{req}$  debe darse por tanto cuando el ruido propio del sistema tenga un valor máximo:

$$(E_b/N_0)_{req} = \frac{E_{b1}}{\left( \frac{I_{SN_{m\acute{a}x}} \Gamma}{R_b F} \right) + N_{0TH} + I_0} \quad (11)$$

Reordenando los términos de esta ecuación y haciendo  $C_1 = E_{b1} R_b$ , puede calcularse el ruido máximo propio admisible del sistema:

$$I_{SN_{m\acute{a}x}} = \frac{C_1 F}{\Gamma} \left( \frac{1}{(E_b/N_0)_{req}} - \frac{1}{(E_{b1}/N_{0TH})} - \frac{1}{(E_{b1}/I_0)} \right) \quad (12)$$

La potencia media de todas las demás señales DS-AMDC, excluyendo la del usuario 1, viene dada por:

$$\bar{C} = \frac{I_{SN_{m\acute{a}x}}}{m - 1} \quad (13)$$

Supóngase ahora que el usuario 1 es el que tiene la señal más débil (es decir, el caso más desfavorable para el usuario 1), y se define el factor dinámico de la señal,  $D$ , a la entrada del receptor por:

$$\bar{C} = DC_1 \quad (14)$$

Puede verse que  $D$  es una medida de la eficacia del control de potencia y, mediante esta definición,  $D \geq 1$ . Así pues, combinando las tres ecuaciones anteriores y disponiendo adecuadamente los términos:

$$m = 1 + \frac{F}{D\Gamma} \left( \frac{1}{(E_b/N_0)_{req}} - \frac{1}{(E_{b1}/N_{0TH})} - \frac{1}{(E_{b1}/I_0)} \right) \quad (15)$$

Suponiendo que los parámetros de diseño de sistema se mantienen constantes, la ecuación (15) puede expresarse de la forma siguiente (siendo  $A$  una constante):

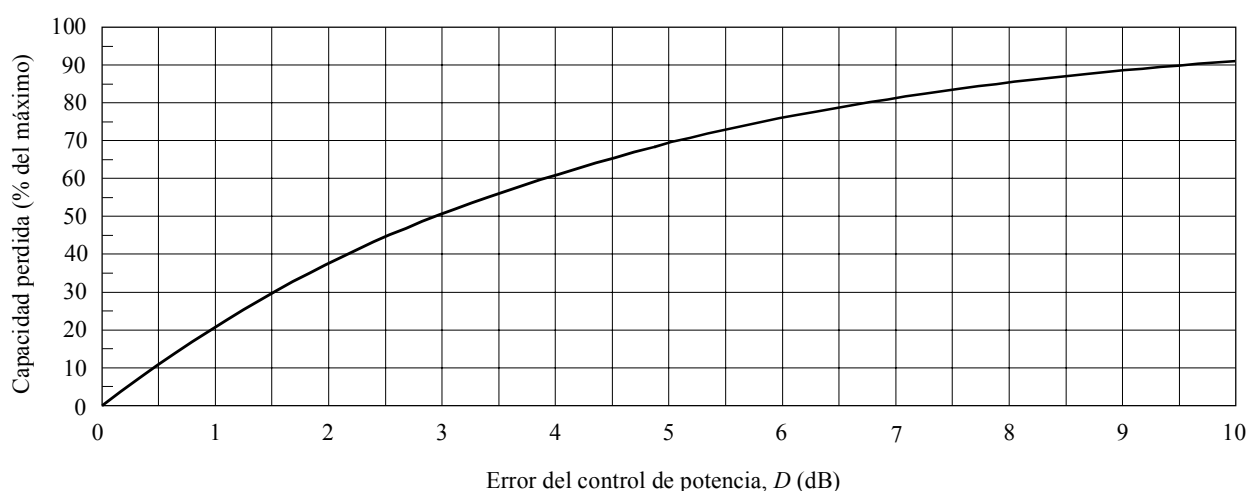
$$m = 1 + \frac{A}{D} \quad (16)$$

De cualquiera de las dos ecuaciones puede verse que:

- para hacer máxima la capacidad del sistema, el valor óptimo es  $D = 1$ . Ello implica simplemente que todas las señales tienen el mismo nivel a la entrada del receptor, es decir, que todos los niveles de potencia se controlan perfectamente;
- como cabía esperar, al minimizar el error del control de potencia se hace máxima la capacidad del sistema.

Valiéndose de la ecuación (16), si se conoce la capacidad máxima del sistema (suponiendo que la potencia está perfectamente controlada), puede hallarse la capacidad del sistema para cualquier nivel del control de potencia, calculando la constante  $A$  y suponiendo que los parámetros del sistema no varían. Si la capacidad máxima del sistema es relativamente grande, la ecuación (16) puede aproximarse mediante  $m \approx A/D$ . Esta aproximación puede utilizarse para representar un gráfico (véase la Fig. 1) del control de potencia en función del porcentaje de la capacidad perdida para un gran número de portadoras. De este gráfico, por ejemplo, si  $D = 1,25$  ( $\approx 1$  dB) se pierde el 20% de la capacidad máxima.

FIGURA 1  
Porcentaje de la capacidad AMDC perdida (para una gran capacidad máxima)  
en función del error del control de potencia,  $D$



1329-01

Es muy importante señalar que estas ecuaciones se han desarrollado suponiendo un AMDC plenamente asíncrono. Ello representa una hipótesis de peor caso, pues un sistema AMDC plenamente síncrono resultará menos afectado por la magnitud de la imperfección del control de potencia (especialmente si se utilizan secuencias de código con pequeña transcorrelación, por ejemplo, códigos Gold). Ello es así porque la capacidad máxima del sistema aumentará, en comparación con la obtenida en el AMDC asíncrono, pues cada segmento de secuencia del transmisor estará sincronizado, lo que minimiza efectivamente todos los productos de transcorrelación y con ello, la interferencia del ruido propio del sistema. No obstante, la utilización del AMDC plenamente síncrono en los sistemas móviles puede no ser factible por razones económicas.

A pesar del problema de la imperfección del control de potencia, el AMDC presenta ciertos aspectos por los que se considera una técnica de acceso múltiple interesante para los sistemas con terminales móviles. La compartición de frecuencias puede facilitarse por la posibilidad de admitir la interferencia mediante una reducción de la capacidad del sistema. En muchos textos se afirma que el caudal del AMDC es pequeño; ello implica que la eficacia espectral del AMDC también es reducida. Empero, aunque la eficacia de un solo satélite sea reducida, la eficacia en todo el arco orbital puede ser superior a la de otras técnicas de acceso debido a las menores separaciones entre satélites. Ello implica que al considerar la eficacia de un sistema propuesto, deben incluirse algunas medidas relacionadas con la separación orbital mínima obtenible; por ejemplo, la eficacia espectral de la modulación por grado de separación entre satélites en el arco orbital.



### 2.1.5 Efecto del control de potencia en la BER

Las señales de las bandas 30/20 GHz sufren grandes desvanecimientos debidos a la lluvia, además de otras atenuaciones debidas a la absorción atmosférica. En frecuencias inferiores, los desvanecimientos debidos a la lluvia son también un problema, pero son suficientemente pequeños, de forma que pueden compensarse con márgenes fijos para la lluvia en el balance del enlace. La calidad de un enlace se basa en la magnitud de su margen fijo para la lluvia y en una predicción del porcentaje de tiempo en el que este margen se excede. Estos criterios de calidad se especifican generalmente con valores del orden de 99,9% o 99,99% del tiempo. En 30/20 GHz, los desvanecimientos que exceden dichos criterios son demasiado grandes para poder compensarlos con márgenes fijos, por lo que, si se requieren esos porcentajes elevados, deben utilizarse otros métodos o si no, deben admitirse calidades inferiores. Los desvanecimientos debidos a la lluvia en 30/20 GHz pueden producirse con velocidades de hasta 3 ó 4 dB/s. Los métodos posibles de compensación de los desvanecimientos debidos a la lluvia incluyen la diversidad espacial, la corrección de errores directa adaptable (FEC), el control de potencia en el trayecto ascendente, la velocidad de transmisión adaptable y el AMDT o AMDC adaptables.

La ecuación (16) se utilizó en el § 2.1.4 para calcular el efecto del control de potencia imperfecto en la capacidad del sistema. En el desarrollo que llevaba a esta ecuación se mantenía constante la relación  $(E_b/N_0)_{req}$  del usuario 1. No obstante, en un sistema práctico, las degradaciones a corto plazo de la BER (y en consecuencia de la  $(E_b/N_0)$ ) podrían ser aceptables. La posibilidad de aceptar dichas degradaciones dependería de las condiciones operativas normales del sistema. Por ejemplo, un sistema que normalmente funcione con una BER de  $1 \times 10^{-7}$  puede ser capaz de aceptar disminuciones a corto plazo de la  $C/N$  que den lugar a una BER de  $1 \times 10^{-3}$  durante un tiempo acumulado de hasta, por ejemplo, el 0,01% de un año. Por el contrario, un sistema de red de comunicaciones personales que funcione normalmente con una BER de  $1 \times 10^{-3}$  puede no ser capaz de aceptar una reducción de la  $C/N$  de magnitud similar. La ecuación (16) puede expresarse de otra manera para determinar los errores del control de potencia que dichas degradaciones aceptarían. La magnitud de los errores del control de potencia que pueden tratarse permitiendo una degradación a corto plazo de la BER depende directamente del esquema de FEC utilizado en el enlace. A continuación se presenta un ejemplo práctico simple para demostrar las posibilidades que ofrece la aceptación de degradaciones a corto plazo.

Considérese la portadora 15 del Cuadro 1. Esta portadora se utiliza en una estación central AMDC del SFS con un sistema VSAT. El sistema funciona con una  $E_b/N_0$  de 5,3 dB y una FEC convolucional con decodificación de Viterbi de decisión flexible y limitación de longitud 7 a velocidad  $\frac{1}{2}$  de 5,3 dB. Se obtiene con ello una BER de  $1 \times 10^{-6}$ . Se utiliza la modulación MDP-4 (que presenta una eficacia espectral de  $\Gamma = 2$  bit/s/Hz, teóricamente) y una ganancia de procesamiento del sistema AMDC de  $F = 1000$ . En este ejemplo se supone que la interferencia exterior y el ruido generado térmicamente son despreciables, por facilidad de los cálculos. Utilizando la ecuación (16), si el control de potencia es perfecto, la capacidad máxima del sistema viene dada por:

$$\begin{aligned}
 m &= 1 + \frac{F}{D\Gamma(E_b/N_0)} \\
 &= 1 + \frac{1000}{1 \times 2 \times 10^{0,53}} \\
 &= 148,56
 \end{aligned} \tag{17}$$

Así pues, con un control de potencia perfecto (es decir,  $D = 1$ ), la capacidad máxima del sistema es de 148 portadoras simultáneas. Se supone para este sistema que la BER ha de ser superior a  $1 \times 10^{-6}$  durante un tiempo acumulado del 99,9% del año. La Fig. 2 muestra  $p\%$  (porcentaje del año durante el que es probable que ocurra una profundidad de desvanecimiento máxima) en función de la profundidad de los desvanecimientos debidos a la lluvia para las bandas 30/20 GHz, en Inglaterra. Del examen de este gráfico puede verse que para un umbral del 99,9% (es decir,  $p = 0,1\%$ ) una profundidad máxima del desvanecimiento de 8,5 dB no se producirá a una frecuencia de 30 GHz (que es la frecuencia del caso más desfavorable). Así pues, para asegurar que las 148 portadoras pueden funcionar durante el 99,9% del año, se necesita un sistema de control de potencia perfecto con una gama de 8,5 dB. Supóngase que dicho sistema es posible y que la BER cae hasta  $1 \times 10^{-3}$ , manteniendo el mismo número de accesos simultáneos. Con el esquema de codificación descrito, una BER de  $1 \times 10^{-3}$  se traduce en una relación  $E_b/N_0$  de 3,4 dB. El error máximo del control de potencia que puede aceptarse permitiendo dicha disminución de la BER puede calcularse a partir de la ecuación (16):

$$m = 1 + \frac{F}{D\Gamma(E_b/N_0)}$$

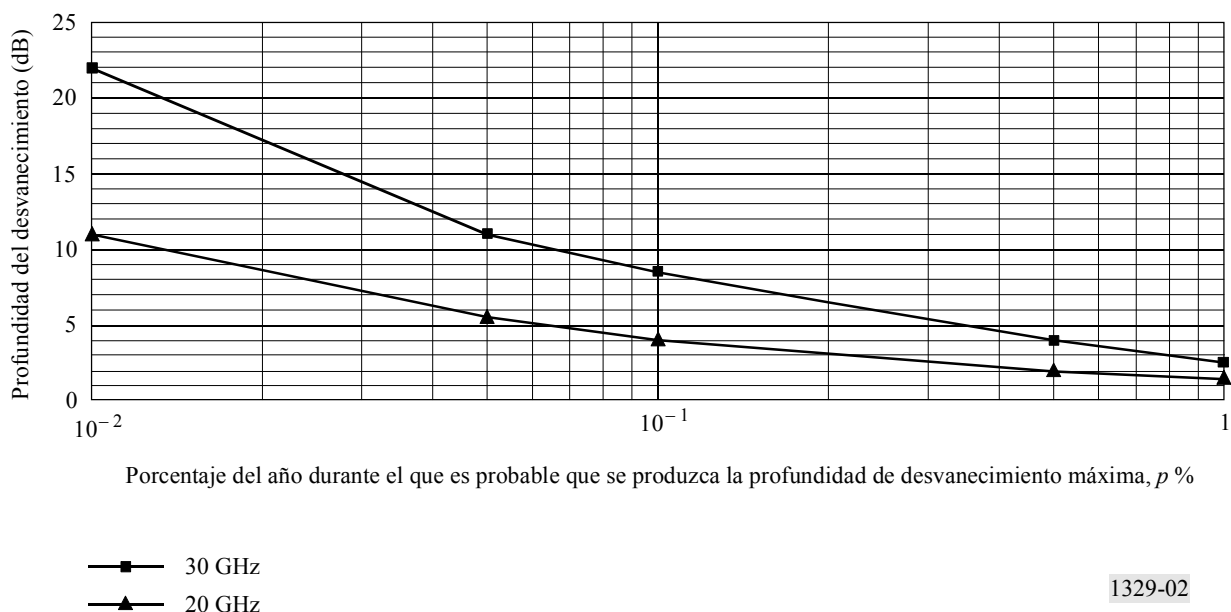
es decir:

$$148,56 = 1 + \frac{1000}{D \times 2 \times 10^{0,34}} \quad (18)$$

de las que,  $D = 1,55$ , ó 1,9 dB

Así pues, para una BER admisible de  $1 \times 10^{-3}$ , con una gama máxima de control de potencia perfecto de 8,5 dB, puede aceptarse una profundidad de desvanecimiento de 10,4 dB. De la Fig. 2 se ve que el porcentaje del año durante el que se excede esta profundidad del desvanecimiento es  $p = 0,06\%$  a una frecuencia de 30 GHz. De lo anterior, si el sistema tiene un control de potencia perfecto en una gama de 8,5 dB, se dispone de 148 portadoras simultáneas para una BER de  $1 \times 10^{-6}$  durante todo el año, excepto un tiempo acumulado de 8 h y 45 min (es decir,  $p = 0,1\%$ ). Si el sistema puede aceptar que la BER caiga hasta  $1 \times 10^{-3}$  durante un tiempo acumulado de 3 h y 30 min (es decir, 0,1% menos 0,06% del año), es posible un sistema con 148 portadoras durante todo el año, excepto durante un tiempo acumulado de 5 h y 15 min (es decir,  $p = 0,06\%$ ).

FIGURA 2  
Desvanecimientos debidos a la lluvia en 30/20 GHz, en Inglaterra



Véase que en este ejemplo se supone que la interferencia exterior y el ruido térmico son despreciables, así como que el control de potencia es perfecto en una gama de 8,5 dB. Es relativamente sencillo ampliar este ejemplo con las técnicas descritas en la presente Recomendación para dar cabida a la interferencia exterior, al ruido térmico y a la imperfección del control de potencia.

### 2.1.6 Control de potencia y su precisión

Hay muchos métodos (por ejemplo el de la codificación de velocidad variable y el de velocidad de transmisión variable) que pueden utilizarse para mantener una BER constante en un enlace de satélite con desvanecimientos. No obstante, estas soluciones se traducirán en pérdidas de la capacidad del sistema debido a la variación de los niveles de potencia de la portadora a la entrada del receptor. La única forma de resolver el problema, manteniendo así constante la BER del enlace y la capacidad en sus límites de diseño, es la de incluir el control de potencia del trayecto ascendente en el transmisor.

La precisión con la que se controla la potencia del trayecto ascendente tiene gran importancia en un sistema AMDC, tal como se describe en el § 2.1.4. Dicha precisión depende de la exactitud con la que puede medirse el error del control de potencia y la exactitud con la que puede controlarse la potencia del transmisor. A continuación se indican dos métodos de medición del error del control de potencia que se utilizan en un sistema de control de potencia en el trayecto ascendente:

- *«Bucle abierto rápido»*: se observa una señal de baliza procedente del satélite y se ajusta el control de potencia del transmisor conforme a las variaciones de dicha señal. Esta baliza puede ir a bordo del satélite o puede consistir en una señal que emita la estación central, en sus transmisiones, con un nivel superior (por ejemplo, 6 dB) al de las señales de información real. Esta señal puede entonces utilizarse no sólo para el control de potencia, sino también, por ejemplo en un sistema AMDC, para adquirir y seguir la frecuencia y el código de la señal deseada, es decir, para obtener una señal AMDC síncrona. El retardo de propagación de un solo salto supone que este método es relativamente rápido. Véase que el método es adecuado cuando hay efectos en los que las frecuencias del enlace ascendente y del descendente resultan afectadas (por ejemplo, efectos de enmascaramiento debidos a edificios y árboles), pero evidentemente no será tan eficaz cuando los efectos sean selectivos en frecuencia (por ejemplo, los desvanecimientos debidos a la lluvia que a menudo no guardan correlación con las frecuencias de transmisión y de recepción). Debido al problema de los efectos selectivos en frecuencia, se dice en ocasiones que este método de control de potencia es «grueso», pues a menudo suele haber un considerable error remanente en la potencia de la señal que llega al receptor.
- *«Bucle cerrado lento»*: en este caso, se toma alguna medida de la calidad del enlace (por ejemplo, la  $C/N$  o la BER) en el terminal terreno de recepción y a continuación se devuelve la información de control de potencia al terminal terreno transmisor utilizando el enlace de retorno (por ejemplo, el enlace de retorno asociado al canal de control). Para que los errores del control de potencia en el enlace ascendente sean los medidos y no los errores en el enlace descendente debidos a desvanecimientos, etc., han de supervisarse todas las señales

de entrada al terminal terreno receptor. Si un nivel de señal disminuye respecto a los otros, la señal está experimentando un desvanecimiento en el enlace ascendente y debe enviarse una información de control de potencia; si todos los niveles de señal disminuyen, se está produciendo un desvanecimiento en el enlace descendente y no es necesario enviar información de control de potencia. La medición de la BER del enlace suele ser lenta (del orden de algunos segundos), especialmente si el enlace es de baja velocidad binaria, pues debe contarse un número suficiente de errores (por ejemplo, 50-100 errores) antes de que la BER medida resulte válida. Asociado al requisito de un retardo de propagación de dos saltos al utilizar el control en bucle cerrado, es fácil comprender la razón por la que se dice que este método es lento. No obstante, la información de control de potencia que se devuelve es relativamente precisa, aun cuando sea una información antigua en el momento que se recibe, por lo que suele utilizarse en un sistema de predicción en el que se procesa la información antigua para obtener una estimación de la situación actual.

Estos dos métodos pueden utilizarse por separado, pero como ambos presentan inconvenientes, suelen utilizarse juntos en alguna forma predeterminada (por ejemplo, el control del bucle abierto ajusta la potencia, a menos que se superponga el control en bucle cerrado).

Debido a los inconvenientes de estos sistemas de medición y a las imprecisiones en la fijación de la potencia requerida del transmisor, habrá siempre algún error residual del control de potencia. El efecto de este error en la capacidad de un sistema AMDC, puede evaluarse a partir de la ecuación (15). Desafortunadamente, no ha sido posible resolver plenamente este aspecto a lo largo del presente estudio, pues no se han encontrado resultados publicados sobre la calidad de la actuación de los sistemas de control de potencia. La falta de resultados publicados sobre mediciones prácticas no es sólo un problema relativo a las bandas de 30/20 GHz, sino a todas las frecuencias, y también una dificultad para todos los sistemas AMDC celulares terrenales (que se encuentran en un estado de desarrollo más avanzado que los sistemas AMDC móviles por satélite).

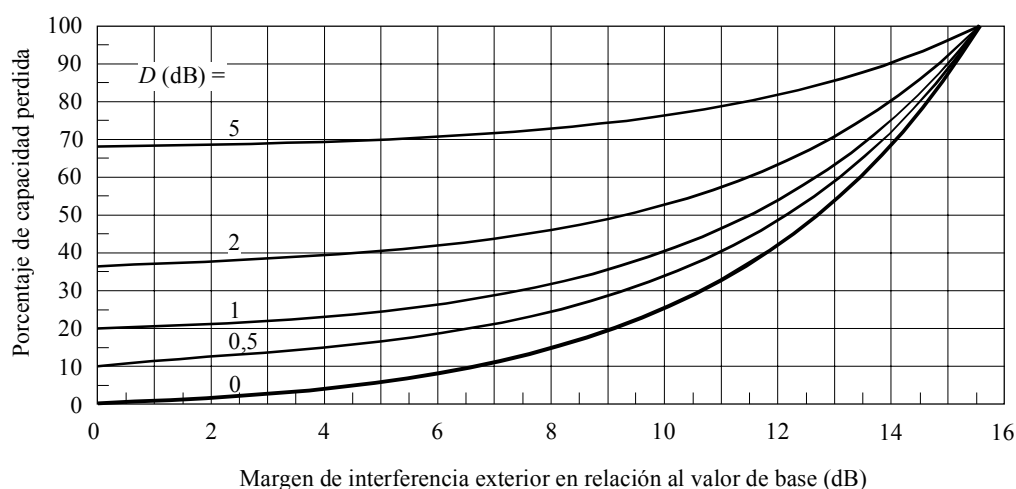
### 2.1.7 Compromiso entre la capacidad del sistema AMDC y el margen de interferencia

La ecuación (6) muestra que un aumento de la interferencia exterior puede compensarse fácilmente con una reducción de la capacidad en un sistema AMDC manteniendo la calidad del enlace requerida en funcionamiento y sin modificar los parámetros de modulación o de acceso. *La AMDC es única a este respecto entre las tres técnicas principales de acceso.* Véase que reduciendo la capacidad de un sistema AMDC, su potencial interferente se reduce también, pues disminuye la p.i.r.e. agregada del bloque AMDC. Véase también que se reduce la relación de protección requerida para el bloque AMDC, y con ello disminuye la susceptibilidad a la interferencia, a medida que se reduce la capacidad (para más detalles sobre las relaciones de protección AMDC, véase el § 3.4). La Fig. 3 muestra el compromiso entre la interferencia exterior y la capacidad, incluyendo los efectos del error de control de potencia para un sistema que utiliza la portadora 15 del Cuadro 1. Véase, en la representación de dicho gráfico, que el valor de base del ruido térmico reduce la capacidad máxima teórica en 7,5% (y dicho porcentaje permanece constante), mientras que el valor básico de la interferencia exterior reduce la capacidad máxima teórica en 2,5% (y es éste el porcentaje que aumenta). Para más detalles sobre estos valores de base, véase el § 2.1.1.

Así por ejemplo, si se permite un aumento del margen de interferencia exterior de 7 dB sobre el valor de base, se reduce la capacidad (con relación al máximo de base) en 10% con control de potencia perfecto, en 20% con 0,5 dB de error de control de potencia (es decir,  $D = 0,5$  dB), en 30% con 1 dB de error de control de potencia, en 44% con 2 dB de error de control de potencia y en 73% con 5 dB de error de control de potencia. Las pérdidas de capacidad pueden ser aceptables si permiten la coordinación, siendo la alternativa la incapacidad absoluta para coordinar.

FIGURA 3

Porcentaje de la capacidad AMDC perdida en función del margen de interferencia exterior incluyendo el efecto del error del control de potencia,  $D$



Nota 1 – Se utilizó la portadora 15 para la representación del gráfico.

1329-03

## 2.2 Efecto de los haces puntuales

En el contexto del presente estudio, puede adoptarse una hipótesis de pequeña interferencia entre haces, en un sistema de haces puntuales de satélite cuidadosamente diseñado, para reducir la separación entre satélites adyacentes. Si los haces que utilizan las mismas frecuencias, de satélites adyacentes, están suficientemente separados o incluso entrelazados, pueden darse grandes discriminaciones de antena de satélite entre señales deseada e interferente. Considerando dichos casos de no cobertura se pueden reducir radicalmente las separaciones entre satélites, pues los niveles de interferencia se reducen en un nivel igual al de la discriminación adicional. No obstante, si dos administraciones desean cubrir la misma zona y:

- una desea utilizar haces puntuales, mientras que la otra quiere un haz ancho; o
- ambas desean utilizar haces puntuales pero son incapaces de llegar a un acuerdo sobre un plan adecuado de haces/entrelazado de frecuencias,

pueden plantearse problemas. En general, la utilización de haces puntuales de satélite entrelazados como medio de lograr una utilización eficaz de la órbita y del espectro puede realizarse en la práctica únicamente en los casos en que el mismo operador controla todas las redes que comparten frecuencias.

En una situación de compartición pueden considerarse los haces puntuales y los haces anchos, con sus distintos parámetros, pero suele necesitarse un funcionamiento de cobertura común para asegurar un acceso equitativo a la OSG.

### 2.3 Efecto de la utilización de procesamiento a bordo regenerativo

El procesamiento a bordo (OBP) se precisa en los sistemas de satélite que utilizan múltiples haces puntuales con el fin de asegurar una conectividad plena y eficaz entre haces. El OBP regenerativo implica la demodulación, decodificación, conmutación al haz de salida correcto, recodificación y remodulación de una señal de entrada. En este proceso, se desacopla fundamentalmente el ruido del enlace ascendente y del descendente lo que permite la opción de utilizar esquemas distintos de modulación y de acceso múltiple en un enlace y en otro. Si la BER del enlace ascendente es  $BER_u$  y la del enlace descendente es  $BER_d$ , utilizando el OBP regenerativo y si las BER son pequeñas, la BER total,  $BER_t$ , del enlace viene dada por la expresión aproximada:

$$BER_t \approx BER_u + BER_d \quad (19)$$

Para una relación  $E_b/N_0$  determinada, la BER será inferior a la de un sistema de satélite de transpondedor transparente. Al considerar un transpondedor transparente, la  $C/N$  total del enlace da la  $E_b/N_0$  del enlace que puede relacionarse con una BER. Para lograr la misma BER en un satélite con OBP regenerativo es posible una reducción de la  $C/N$  de 3 dB únicamente si el 50% del ruido se produce en el enlace ascendente y el 50% en el enlace descendente. Una reducción de 3 dB de la  $C/N$  implica una reducción de 3 dB en la relación de protección de dicha portadora, lo que puede traducirse en un 32% de disminución de la separación entre satélites (suponiendo que los lóbulos laterales de la antena caen con pendiente  $25 \log_{10} \Phi$ ). Aunque es probable que se dé una distribución equilibrada del ruido entre los enlaces ascendente y descendente en la red que emplean enlaces directos móvil-móvil, no es probable que sea así en otras muchas aplicaciones. A medida que la distribución del ruido se desequilibra, lo que era una reducción razonable cae bastante rápidamente a cero; por ejemplo, si el 10% del ruido se produce en el enlace ascendente y 90% en el descendente, se produce una reducción de 0,4 dB en la  $C/N$  lo que implica una disminución del 4% de la separación entre satélites. Cualquiera que sea el nivel real de la disminución, el OBP regenerativo hace disminuir la separación entre satélites, pero comporta la utilización de una tecnología compleja que aún no ha madurado.

## 3 Análisis

### 3.1 Parámetros de la portadora

En el Cuadro 1 figuran las portadoras con sus parámetros correspondientes, que se utilizaron en el presente análisis. Todas estas portadoras son digitales, pues las portadoras analógicas se estudiaron en el Grupo de Trabajo 4A de Radiocomunicaciones, en 1992. Véase que la columna denominada «Número de portadoras simultáneas» tiene un valor «1» para todo método de acceso distinto del AMDC, y que para este último tiene un valor calculado a partir de la ecuación (8), suponiendo los valores de base del margen de ruido térmico y del margen de interferencia externa (que juntos producen un 10% de reducción de la capacidad máxima). También ha de señalarse que, para las portadoras AMDC, los valores de la p.i.r.e. que muestra el Cuadro son valores acumulados que se calculan multiplicando la p.i.r.e. de una sola portadora por el número de portadoras de bloque AMDC (la cifra de la columna «Número de portadoras simultáneas»). Ello permite tratar el bloque AMDC como si fuese una única portadora MDP grande en todos los cálculos.

Las portadoras numeradas 8 a 33 se obtuvieron de una contribución del Reino Unido del Grupo de Trabajo 4A de Radiocomunicaciones en 1993. Representan una selección de las que producen mayor y menor interferencia y de las más susceptibles y menos susceptibles a ésta. Los parámetros del sistema correspondientes a estas portadoras se trasladaron en frecuencia desde la banda de 1,6/1,5 GHz y la banda de 30/20 GHz. La validez de cambio en frecuencia se verificó mediante una comparación posterior de parámetros similares con traslado de frecuencia y parámetros de red planificada.

Las portadoras numeradas 40 a 43 son portadoras de 30/20 GHz que se utilizan en las redes actuales o planificadas. Véase que a fin de tener en cuenta las variaciones de la zona climática, el emplazamiento geográfico, etc., se añadieron 3 dB a las p.i.r.e. del terminal del satélite y terreno para dar valores máximos y se sustraen 3 dB para dar valores mínimos.

Las portadoras numeradas 50 a 62 son todas las portadoras de una contribución de INTELSAT a la reunión del Grupo de Trabajo 4A de Radiocomunicaciones en 1993. Véase que también en este caso se añadía/sustraía un valor de 3 dB a los valores de la p.i.r.e. del terminal de satélite y terreno para dar valores máximos/mínimos.

Las portadoras numeradas 80 a 86 son portadoras desarrolladas a partir de los parámetros que figuran en una contribución de Canadá a la reunión del Grupo de Trabajo 4A de Radiocomunicaciones en 1993. Cada enlace utiliza un terminal multiusuario multimedia (MUMM) como estación central. Se calcularon los balances de enlace de un transpondedor transparente en cada caso, para tener la misma BER del enlace total que con los transpondedores regenerativos (utilizando la ecuación (19) en el cálculo de la BER total de un enlace con transpondedor regenerativo). En los enlaces directos se suponía que un 10% del ruido se producía en el enlace ascendente y el 90% en el descendente. En los enlaces inversos se suponía que el 10% del ruido se producía en el enlace descendente y el 90% en el ascendente. Con esta hipótesis se hallaban los valores de la p.i.r.e. del terminal del satélite y terreno requeridos. Véase que también en este caso se añadía/sustraía 3 dB a la p.i.r.e. del satélite y del terminal terreno para dar valores máximos/mínimos.

### 3.2 Diagramas de antena fija y móvil

La cobertura común es el escenario más desfavorable para los cálculos de separación entre satélites. Al considerar la cobertura común es únicamente la discriminación fuera del eje de la antena de los terminales terreno deseado e interferente la que interviene en las separaciones mínimas entre satélites. Por tanto, deben conocerse las características de caída de cualquier antena utilizable de terminal terreno antes de efectuar los cálculos de separación.

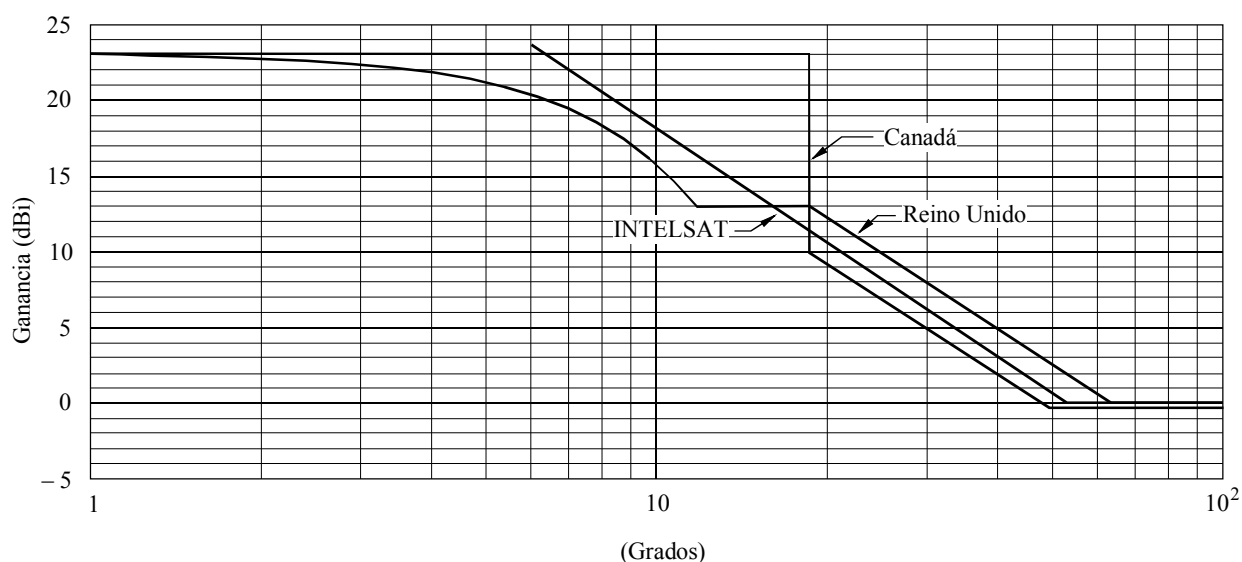
El Cuadro 1 muestra los diagramas de antena que se utilizaron con cada terminal terreno de transmisión y recepción de portadora. Cada portadora se utilizó con su diagrama de antena respectivo; por ejemplo, el terminal móvil teórico «INTELSAT» con el enlace central utiliza el diagrama de transmisión del terminal terreno móvil propuesto en la contribución de INTELSAT y el diagrama de recepción del terminal terreno fijo del Reino Unido. El § 1 del Apéndice 1 al Anexo 1 da las ecuaciones de todos los diagramas de antena utilizados. Debe señalarse que:

- el diagrama del terminal terreno fijo del Reino Unido corresponde al Apéndice S8 del Reglamento de Radiocomunicaciones (RR);
- el diagrama del terminal terreno móvil del Reino Unido se basaba en un modelo de INMARSAT ajustado en frecuencia;
- los dos diagramas canadienses presentan una ganancia máxima a partir de  $0^\circ$ , apartándose del eje hasta  $100 \lambda/D^\circ$ . En una contribución de Canadá, si no puede lograrse la separación con  $0^\circ$ , pero se logra con un ángulo de separación inferior a  $100 \lambda/D^\circ$ , el valor de la separación se aumenta a  $110 \lambda/D^\circ$ . Con el diagrama del § 3 del Apéndice 1 al Anexo 1 se efectúa este proceso automáticamente;

- el diagrama del terminal terreno fijo canadiense llevaba lóbulos laterales extremos de  $-10$  dBi, como en el Apéndice S8 al RR, pues en la contribución no se daba ningún valor;
- el diagrama del terminal terreno móvil canadiense llevaba lóbulos laterales extremos constantes al nivel alcanzado a  $48^\circ$ , pues la contribución no daba ningún valor;
- el diagrama del terminal terreno fijo del Reino Unido se utilizó para los terminales terrenos fijos de INTELSAT, pues no se facilitaron ecuaciones, indicando únicamente que los diagramas se caracterizaban por la función  $29 - 25 \log_{10} \phi$  como el diagrama del terminal terreno fijo del Reino Unido;
- los diagramas del terminal terreno móvil teórico «INTELSAT» tenía lóbulos laterales extremos de  $0$  dBi, pues no se indicaron valores y éste era el obtenido en el límite de las ecuaciones facilitadas.

La Fig. 4 representa una comparación de los diagramas del terminal terreno móvil de recepción del Reino Unido, canadiense e «INTELSAT». En esta Figura las tres antenas tienen la misma ganancia máxima. La Fig. 5 muestra una comparación de los diagramas del terminal terreno móvil transmisor del Reino Unido, canadiense e «INTELSAT». También en esta Figura se ha dado la misma ganancia máxima a las tres antenas.

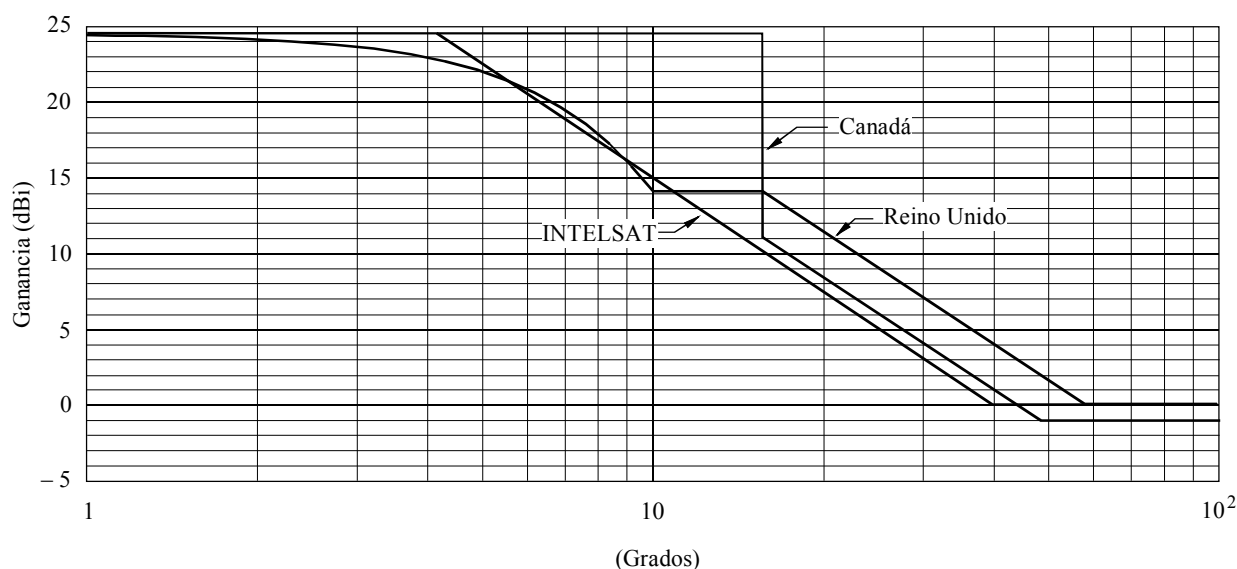
FIGURA 4  
Comparación de diagramas de antena móvil de recepción



Nota 1 – Todas las antenas tienen la misma ganancia en el eje.



FIGURA 5  
Comparación de diagramas de antena móvil de transmisión



Nota 1 – Todas las antenas tienen la misma ganancia en el eje.

1329-05

No se facilitaron valores de la precisión de puntería de ninguna de estas antenas. La pérdida de ganancia debida a la falta de puntería puede ser muy importante en un sistema AMDC (véase el § 2.1.4), por lo que se necesitaban algunos valores. Se suponía que estas antenas tienen sistemas que permiten mantener la precisión de puntería dentro de  $1^\circ$  para el sistema de antenas en fase (que tiene una ganancia máxima de 24,5 dBi) y en  $0,1^\circ$  para el terminal VSAT (que tienen una ganancia máxima de 23,5 dBi). Las pérdidas debidas a la falta de puntería de  $\theta_p^\circ$  pueden aproximarse mediante la fórmula:

$$\text{Pérdida (dB)} = 12 \left( \frac{\theta_p D}{68 \lambda} \right)^2 \quad (20)$$

Así pues, las pérdidas debidas a la falta de puntería son aproximadamente de 0,1 dB para el sistema de antenas en fase y de  $0,9 \times 10^{-3}$  dB para el terminal VSAT. Estos valores de pérdidas son relativamente pequeños comparados con las debidas a los desvanecimientos por la lluvia en 30/20 GHz y, por tanto, se han dejado de lado en el presente análisis. No obstante, tal vez sea necesario reexaminar en el futuro la validez de la cifra de 0,1 dB para las pérdidas de los terminales móviles.

### 3.3 Ecuaciones de interferencia del satélite

Al considerar la cobertura común, las hipótesis de peor caso son que:

- el terminal terreno deseado está en el extremo de la zona de cobertura del satélite deseado y en el centro de la del satélite interferente;
- el terminal terreno interferente está en el centro del haz del satélite deseado y en el extremo de la zona de cobertura del satélite interferente.

Utilizando estas hipótesis, las ecuaciones para calcular las relaciones  $C/I$  del enlace se obtienen directamente. La ecuación de la  $C/I$  del enlace ascendente viene dada por:

$$(C/I)_U = (p.i.r.e._{ESw} - 3) - (p.i.r.e._{ESi} - G_{ESi} + G_{ESi}(\varphi)) \quad (21)$$

donde:

$p.i.r.e._{ESw}$ : p.i.r.e. del terminal terreno deseado

$p.i.r.e._{ESi}$ : p.i.r.e. del terminal terreno interferente

$G_{ESi}$ : ganancia máxima de antena del terminal terreno interferente

$G_{ESi}(\varphi)$ : ganancia de la antena del terminal terreno interferente en el ángulo  $\varphi^\circ$ .

De igual manera, la ecuación de la  $C/I$  del enlace descendente viene dada por:

$$(C/I)_D = (p.i.r.e._{SATw} - 3 + G_{ESw}) - (p.i.r.e._{SATi} + G_{ESw}(\varphi)) \quad (22)$$

donde:

$p.i.r.e._{SATw}$ : p.i.r.e. del satélite deseado

$p.i.r.e._{SATi}$ : p.i.r.e. del satélite interferente

$G_{ESw}$ : ganancia máxima de antena del terminal terreno deseado

$G_{ESw}(\varphi)$ : ganancia de la antena del terminal terreno deseado en el ángulo  $\varphi^\circ$ .

Si se consideran las mismas portadoras en el enlace ascendente y en el descendente, para transpondedores regenerativos, estas dos ecuaciones son todo lo que se necesita. Para transpondedores transparentes, se requiere la relación  $C/I$  de todo el enlace que viene dada por:

$$(C/I)_{tot}^{-1} = (C/I)_U^{-1} + (C/I)_D^{-1} \quad (23)$$

### 3.4 Relaciones de protección

Las relaciones de protección utilizadas en el análisis para cada combinación de portadoras deseada e interferente figuran en el Cuadro 2. El modelo de soporte lógico incorporaba un conjunto relativamente sencillo de reglas para obtener una estimación del valor mínimo aceptable de la  $C/I$  de una sola fuente que pudiera dar lugar a una degradación de la señal no inferior a la considerada aceptable para cada portadora deseada particular. Ello depende de una serie de factores:

- la relación  $C/N$  pretendida para la portadora deseada;
- la interferencia admisible de una sola fuente en banda de base para la portadora deseada;
- las anchuras de banda ocupadas por las portadoras deseada e interferente;
- el espectro modulado de las portadoras deseada e interferente.

Véase que en el § 2.1.1 se suponía que la reducción de base en la capacidad teórica del sistema AMDC para dejar margen a la interferencia externa y al ruido térmico es del 10% (margen de ruido térmico del 7,5% y margen de interferencia externa del 2,5%). Así pues, la relación de protección para una portadora AMDC deseada puede calcularse considerando todo el bloque AMDC como una única portadora MDP si se añaden 4,8 dB (es decir,  $10 \log_{10} (7,5\%/2,5\%)$ ) a la relación  $C/N$  total y se incluye un factor de anchura de banda.

### 3.5 Cálculo de los ángulos de separación entre satélites

Se ha elaborado un programa de computador para evaluar las separaciones mínimas entre satélites necesarias con las diversas combinaciones de portadoras del Cuadro 1. Para cada combinación de portadoras deseada e interferente se calculó la relación de protección. A continuación se calculaba el ángulo de separación requerido,  $\phi$ . Si no podía darse protección suficiente a la portadora deseada, se calculaba el incremento de discriminación necesario para lograr una separación. Se obtenían entonces los datos resultantes:

- los números de portadora deseada e interferente (para identificación);
- la relación de protección requerida;
- la separación requerida entre satélites,  $\phi$ , o la discriminación adicional necesaria para lograr la separación;
- la eficacia espectral por grado de separación en el arco orbital. Este valor se calcula multiplicando el número de usuarios simultáneos de la anchura de banda por la velocidad binaria del canal, y dividiendo el resultado por la anchura de banda del canal y la separación orbital requerida.

Véase que al calcular la eficacia espectral por grado de separación en el arco orbital, se supone que el sistema está limitado en anchura de banda y no en potencia.

Puede verse que el ángulo  $\phi$  es de hecho un ángulo topocéntrico, es decir, el ángulo entre satélites adyacentes visto desde un terminal terreno en un punto de la superficie de la Tierra. El ángulo real de separación requerido entre satélites viene dado, evidentemente, por el ángulo geocéntrico,  $\theta$ , y si se consideran satélites geoestacionarios, puede demostrarse que para un ángulo topocéntrico determinado,  $\phi$ , el ángulo geocéntrico varía desde:

$$\theta = \phi - 2 \sin^{-1} [0,1512 \sin(\phi/2)] \quad (\text{en el ecuador}) \quad (24)$$

a  $\theta \approx \phi$  (en latitudes elevadas).

No obstante, el caso  $\theta = \phi$  es el caso más desfavorable y es el que se considera aquí.

Véase también que las zonas en que el ángulo topocéntrico es mínimo, lo que da la discriminación de antena de terminal terreno mínima, la longitud del trayecto de interferencia es máxima, de forma que los dos efectos tienden a compensarse. Esto implica que, de forma bastante aproximada, puede dejarse de lado el hecho de que todos los terminales de un sistema no estén en el mismo lugar.

## 4 Resultados

En el Cuadro 1, las portadoras 21 a 26 inclusive, las portadoras 55 a 58 inclusive y las portadoras 80 a 85 inclusive son portadoras AMDF del SMS. Las portadoras 30 a 33 inclusive y las portadoras 59 a 62 inclusive son bloques AMDC de portadoras de espectro ensanchado del SMS. Todas las demás portadoras del Cuadro, exceptuando las portadoras 15 a 18 inclusive que son bloques AMDC de portadoras de espectro ensanchado del SFS, son portadoras AMDF del SFS.

El Cuadro 2 muestra las relaciones de protección (dB) requeridas para las combinaciones de portadoras deseadas e interferentes. El Cuadro 3 muestra las separaciones entre satélites de cobertura común (grados) requeridas para asegurar las relaciones de protección respectivas de las combinaciones de portadoras deseada e interferentes. Las cifras entre paréntesis indican que es imposible lograr la relación de protección requerida con ninguna separación. El propio número

entre paréntesis es la discriminación adicional (dB) requerida para lograr la relación de protección en cuestión. El Cuadro 4 muestra la eficacia espectral de la modulación de la portadora deseada por grado de arco de separación orbital (bit/s/Hz/grado) lograda con la separación de la combinación de portadoras deseada e interferente en cuestión. Este valor se calcula dividiendo la eficacia espectral de la modulación de la portadora deseada (calculada mediante división de su velocidad binaria del canal por su anchura de banda del canal) por la separación lograda para la combinación pertinente de portadoras deseada e interferente y a continuación multiplicando este resultado por el número máximo de accesos simultáneos para la anchura de banda del canal de la portadora deseada (que es 1 para todos los métodos de acceso excepto el AMDC y que para el AMDC puede calcularse a partir de la ecuación (15) suponiendo los márgenes de base de interferencia y de ruido térmico). Un «0» entre paréntesis indica que la relación de protección en cuestión no se logró, por lo que no existe un valor de separación entre satélites. Un «-1» entre paréntesis indica que se logró una separación de 0° (lo que se traduce en una eficacia espectral de la modulación infinita por grado de arco orbital).

Por ejemplo, si un satélite deseado que lleva un bloque de portadoras AMDC del SMS en 5 MHz (portadora 30) cubre la misma zona que un satélite interferente que lleva un enlace VSAT a VSAT en 64 kbit/s (portadora 40):

- se requiere una relación de protección de 26,8 dB;
- se requiere una separación de base de 2,2° para lograr esta relación de protección;
- se obtiene una eficacia espectral de la modulación por grado de arco orbital de 0,197 bit/s/Hz/grado para la portadora deseada con esta separación.

El análisis de los Cuadros 3 y 4 ilustra lo siguiente:

- a) Las separaciones entre satélites para las combinaciones AMDF del SFS con AMDF del SFS no son demasiado grandes; la mayoría de las separaciones son muy inferiores a 10° y son de magnitud tal que indican que, si se aplican técnicas de coordinación (por ejemplo, entrelazado de portadoras o segmentación del espectro), pueden lograrse separaciones de 3°. Las separaciones entre satélites para las combinaciones del SFS cuando una o ambas portadoras consideradas utiliza el AMDC son también relativamente modestas y se traducen en eficacias espectrales generalmente similares por grado de arco orbital a las que se obtienen con las combinaciones AMDF del SFS.
- b) Las separaciones entre satélites para las portadoras del SFS interferentes con las portadoras del SMS son de la misma magnitud o ligeramente superiores a las del § a), lo que implica que la coordinación serviría probablemente para reducirlas a niveles utilizables. Véase que las separaciones entre satélites son generalmente inferiores si las portadoras del SMS utilizan el AMDC en lugar del AMDF. Tal como cabía prever, las eficacias espectrales por grado de arco orbital son inferiores a las obtenidas en el § a). No obstante, utilizando portadoras AMDF del SMS o AMDC del SMS se producen valores similares.
- c) Para las portadoras del SMS que interfieren con portadoras del SFS, las separaciones entre satélites son generalmente bastante grandes y parece que la coordinación sería bastante difícil. La utilización del AMDC en lugar del AMDF para las portadoras del SMS contribuye por lo general a reducir estas separaciones, pero siguen siendo bastante grandes. No obstante, podría ser factible renunciar a una cierta capacidad del bloque AMDC para reducir estas separaciones. La utilización del AMDC por las portadoras del SMS y el SFS contribuye a reducir las separaciones a niveles en los que pueden aplicarse soluciones utilizables mediante el proceso de coordinación. Como cabía prever, las eficacias espectrales por grado de arco orbital son inferiores a las logradas en el § a). No obstante, las portadoras AMDC del SMS (especialmente las numeradas 30 a 33 inclusive) tienen generalmente eficacias espectrales por grado de arco orbital superiores a las que utilizan AMDF.

d) Para las combinaciones de portadoras entre el SMS y el SMS, por lo general, las separaciones entre satélites son grandes o se necesitan discriminaciones adicionales para lograr la relación de protección requerida. Los ejercicios de coordinación no darán lugar probablemente a resultados satisfactorios. No obstante, conviene señalar que la utilización del AMDC contribuye por lo general a reducir la separación (especialmente si se utiliza el AMDC para las portadoras deseada e interferente del SMS). También puede ser factible renunciar a cierta capacidad de reducir las separaciones cuando se utiliza el AMDC, a fin de lograr un resultado aceptable en la coordinación. También conviene señalar que cuando se utiliza el AMDC, las eficacias espectrales por grado de arco orbital suelen ser superiores a las logradas con el AMDF. Ello demuestra la utilidad del AMDC en un entorno de compartición, especialmente cuando se considera la posibilidad de reducir la capacidad para lograr una reducción de las separaciones (sin modificar ninguno de los parámetros en el sistema).

NOTA 1 – La utilización del AMDC reduce la eficacia espectral (bit/s/Hz) de un enlace en comparación con la lograda al utilizar el AMDF o el AMDT. No obstante, cuando se utiliza el AMDC para la portadora deseada o la portadora interferente o (especialmente) para ambas portadoras, la eficacia espectral de la modulación por grado de arco orbital (bits/s/Hz/grado) es por lo general comparable, y a menudo mejor, a la lograda cuando se utiliza el AMDF o el AMDT.

## 5 Conclusiones

En las bandas de 30/20 GHz, los ángulos mínimos de separación geocéntrica para lograr una compartición satisfactoria entre dos satélites del SFS suelen ser muy inferiores a los que hay entre dos satélites del SMS. El ángulo de la compartición entre un satélite del SFS y un satélite del SMS viene generalmente determinado por la protección requerida para las portadoras del SMS.

La compartición con frecuencia y cobertura comunes entre redes del SFS con separaciones de satélites del orden de  $3^\circ$  es posible si se aplican técnicas de coordinación tradicionales. La compartición con frecuencia y con cobertura comunes entre satélites del SFS y del SMS, y especialmente entre satélites sólo del SMS, da lugar a ángulos de separación mayores o a calidades del enlace inferiores a las tradicionales o a capacidades de portadora inferiores a las tradicionales.

Si se requiere la compartición de frecuencias sin cobertura común con portadoras del SMS, es necesario aplicar algún método para reducir las evaluaciones entre satélites. Pueden considerarse métodos tales como el de la utilización del AMDC o la segregación del espectro o el aislamiento geográfico mediante haces puntuales.

La utilización de la segregación del espectro no es aconsejable como tampoco lo es el aislamiento geográfico. Puede considerarse la utilización de haces puntuales entrelazados, pero ello lleva probablemente a situaciones de compartición complejas.

La capacidad de un sistema AMDC puede negociarse de manera relativamente sencilla sin cambiar los parámetros de la red, a fin de aceptar más interferencia exterior. Como la capacidad se negocia en un sistema AMDC, también resulta menos interferente. En este estudio, se ha visto que los sistemas AMDC logran generalmente eficacias espectrales superiores por grado de arco orbital a las de sistemas similares AMDF, aun cuando la capacidad por satélite fuera superior en el caso AMDF. No obstante, la capacidad de un sistema AMDC depende considerablemente del error del control de potencia en la entrada del receptor. La viabilidad económica de un sistema AMDC, utilizado para las comunicaciones por transceptores portátiles dependerá por tanto de la precisión y del coste de su sistema de control de potencia, pues ambos están vinculados estrechamente.

## APÉNDICE 1

## AL ANEXO 1

**1 Diagramas de antena**

Para calcular el valor de la relación  $D/\lambda$  puede utilizarse la ecuación siguiente (suponiendo una eficacia de antena del 70%):

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{10^{0,1G_{\max}}}{0,7}} \quad (25)$$

**2 Diagramas de antena del Reino Unido**

Diagrama de antena del terminal terreno fijo (del Apéndice S8 al RR):

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{\max} - 2,5 \times 10^{-3} \left( \frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 & \text{para } 0 < \varphi < \varphi_m \\ 2 + 15 \log_{10} \left( \frac{D}{\lambda} \right) & \text{para } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r \\ 29 - 25 \log_{10} \varphi & \text{para } \varphi_r \leq \varphi < 48^\circ \\ -10 & \text{para } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (26)$$

Diagrama de antena de terminal terreno móvil:

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{\max} - 2,5 \times 10^{-3} \left( \frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 & \text{para } 0 < \varphi < \varphi_m \\ 2 + 15 \log_{10} \left( \frac{D}{\lambda} \right) & \text{para } \varphi_m \leq \varphi < 100 \frac{\lambda}{D} \\ 52 - 10 \log_{10} \left( \frac{D}{\lambda} \right) - 25 \log_{10} \varphi & \text{para } 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < \varphi_1 \\ 0 & \text{para } \varphi_1 \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (27)$$

donde:

$$\begin{aligned} \varphi_m &= \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{\max} - 2 - 15 \log_{10} \left( \frac{D}{\lambda} \right)} \\ \varphi_r &= 15,85 \left( \frac{D}{\lambda} \right)^{-0,6} \\ \varphi_1 &= 120 \left( \frac{D}{\lambda} \right)^{-0,4} \end{aligned} \quad (28)$$

### 3 Diagramas de antenas canadienses

Diagrama de antena de terminal terreno fijo:

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{\text{máx}} & \text{para } 0 < \varphi < 100 \frac{\lambda}{D} \\ 29 - 25 \log_{10} \varphi & \text{para } 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < 48^\circ \\ -10 & \text{para } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (29)$$

Diagrama de antena del terminal terreno móvil:

$$G(\varphi) = \begin{cases} G_{\text{máx}} & \text{para } 0 < \varphi < 100 \frac{\lambda}{D} \\ 49 - 10 \log_{10} \left( \frac{D}{\lambda} \right) - 25 \log_{10} \varphi & \text{para } 100 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < 48^\circ \\ 7 - 10 \log_{10} \left( \frac{D}{\lambda} \right) & \text{para } 48^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (30)$$

### 4 Diagramas de antena «INTELSAT»

Diagrama de antena del terminal terreno fijo:

– se utilizó el diagrama de antena del terminal fijo del Reino Unido.

Diagrama de antena del terminal terreno móvil de transmisión:

$$G(\varphi) = \begin{cases} 24,5 & \text{para } 0 < \varphi < 4,17^\circ \\ 40 - 25 \log_{10} \varphi & \text{para } 4,17^\circ \leq \varphi < 39,8^\circ \\ 0 & \text{para } 39,8^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (31)$$

Diagrama de antena del terminal terreno móvil de recepción:

$$G(\varphi) = \begin{cases} 23,0 & \text{para } 0 < \varphi < 6,03^\circ \\ 43 - 25 \log_{10} \varphi & \text{para } 6,03^\circ \leq \varphi < 52,5^\circ \\ 0 & \text{para } 52,5^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ \end{cases} \quad (32)$$

## 5 Cuadros de resultados

CUADRO 1

### Parámetros de portadoras en las bandas de 30/20 GHz

| Portadora número | Número de portadoras simultáneas | Velocidad binaria de canal de portadora única (kbit/s) | Anchura de banda de ruido (kHz) | Anchura de banda del canal (kHz) | C/N (dB) | Satélite              |                       | Estación terrena      |                       |                               |                                   |                             |                                 | Descripción de la portadora                   |
|------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------|
|                  |                                  |                                                        |                                 |                                  |          | p.i.r.e. máxima (dBW) | p.i.r.e. mínima (dBW) | p.i.r.e. máxima (dBW) | p.i.r.e. mínima (dBW) | Ganancia del transmisor (dBi) | Diagrama de antena del transmisor | Ganancia del receptor (dBi) | Diagrama de antena del receptor |                                               |
| 8                | 1                                | 120 000                                                | 66 000                          | 72 000                           | 13,2     | 64,6                  | 62,3                  | 87,4                  | 84,4                  | 62,3                          | UK Fix                            | 60,2                        | UK Fix                          | UK SFS 120 Mbit/s AMDT MDP-4                  |
| 9                | 1                                | 128                                                    | 85                              | 112,5                            | 6,8      | 31,7                  | 19,6                  | 54,5                  | 37,3                  | 57,2                          | UK Fix                            | 55,1                        | UK Fix                          | UK SFS 64 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-4         |
| 10               | 1                                | 4 096                                                  | 2 700                           | 3 173                            | 6,8      | 46,8                  | 34,6                  | 69,6                  | 52,4                  | 57,2                          | UK Fix                            | 55,1                        | UK Fix                          | UK SFS 2 048 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-4      |
| 15               | 134                              | 10                                                     | 5 000                           | 5 500                            | 7,7      | 53,8                  | 43,8                  | 69                    | 59                    | 60                            | UK Fix                            | 41,3                        | UK Fix                          | UK SFS (H->V) 5 kbit/s + 1/2 FEC AMDC MDP-4   |
| 16               | 134                              | 10                                                     | 5 000                           | 5 500                            | 7,7      | 43,8                  | 33,8                  | 59,5                  | 49,5                  | 43,4                          | UK Fix                            | 57,8                        | UK Fix                          | UK SFS (V->H) 5 kbit/s + 1/2 FEC AMDC MDP-4   |
| 17               | 134                              | 100                                                    | 50 000                          | 55 000                           | 7,7      | 63,8                  | 53,8                  | 79                    | 69                    | 60                            | UK Fix                            | 41,3                        | UK Fix                          | UK SFS (H->V) 50 kbit/s + 1/2 FEC AMDC MDP-4  |
| 18               | 134                              | 100                                                    | 50 000                          | 55 000                           | 7,7      | 53,8                  | 43,8                  | 69,5                  | 59,5                  | 43,4                          | UK Fix                            | 57,8                        | UK Fix                          | UK SFS (V->H) 50 kbit/s + 1/2 FEC AMDC MDP-4  |
| 21               | 1                                | 24                                                     | 14,4                            | 20                               | 4,3      | 40,6                  | 32,1                  | 76,9                  | 68,3                  | 54                            | UK Fix                            | 28                          | UK Mob                          | UK SFS->SMS Inm-B 24 kbit/s Glob AMDF         |
| 22               | 1                                | 24                                                     | 14,4                            | 20                               | 3,6      | 28,4                  | 15,5                  | 30,2                  | 24,2                  | 31,5                          | UK Mob                            | 50,5                        | UK Fix                          | UK SMS->SFS Inm-B 24 kbit/s Spot AMDF         |
| 25               | 1                                | 8                                                      | 4,8                             | 10                               | 4,2      | 39,6                  | 31,1                  | 79,9                  | 71,3                  | 54                            | UK Fix                            | 23                          | UK Mob                          | UK SFS->SMS Inm-M 8 kbit/s Glob AMDF          |
| 26               | 1                                | 8                                                      | 4,8                             | 10                               | 3,4      | 26,3                  | 9,5                   | 25,1                  | 20,1                  | 27,5                          | UK Mob                            | 50,5                        | UK Fix                          | UK SMS->SFS Inm-M 8 kbit/s Spot AMDF          |
| 30               | 226                              | 9,6                                                    | 4 800                           | 5 000                            | 7,9      | 71,1                  | 65,1                  | 52,3                  | 46,3                  | 53,5                          | UK Fix                            | 19                          | UK Mob                          | UK SFS->SMS 4,8 kbit/s + 1/2 FEC AMDC MDP-4   |
| 31               | 226                              | 9,6                                                    | 4 800                           | 5 000                            | 7,9      | 42,2                  | 36,2                  | 43,2                  | 37,2                  | 23                            | UK Mob                            | 50                          | UK Fix                          | UK SMS->SFS 4,8 kbit/s + 1/2 FEC AMDC MDP-4   |
| 32               | 226                              | 96                                                     | 48 000                          | 50 000                           | 7,9      | 68,5                  | 62,5                  | 62,3                  | 56,3                  | 53,5                          | UK Fix                            | 29                          | UK Mob                          | UK SFS->SMS 48 kbit/s + 1/2 FEC AMDC MDP-4    |
| 33               | 226                              | 96                                                     | 48 000                          | 50 000                           | 7,9      | 52,2                  | 46,2                  | 51,2                  | 45,2                  | 32,5                          | UK Mob                            | 50                          | UK Fix                          | UK SMS->SFS 48 kbit/s + 1/2 FEC AMDC MDP-4    |
| 40               | 1                                | 128                                                    | 153,6                           | 179,2                            | 5,1      | 27,5                  | 21,5                  | 40,5                  | 34,5                  | 45,5                          | UK Fix                            | 42,1                        | UK Fix                          | CODE (V->V) 64 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-2    |
| 41               | 1                                | 4 096                                                  | 2 460                           | 3 240                            | 10,8     | 42,5                  | 36,5                  | 74,9                  | 68,9                  | 53,8                          | UK Fix                            | 42,1                        | UK Fix                          | CODE (H->V) 2 048 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-4 |
| 42               | 1                                | 128                                                    | 153,6                           | 179,2                            | 6        | 27,5                  | 21,5                  | 41,5                  | 35,5                  | 45,5                          | UK Fix                            | 50,9                        | UK Fix                          | CODE (V->H) 64 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-2    |
| 43               | 1                                | 3 000                                                  | 2 180                           | 2 520                            | 11,7     | 34,6                  | 28,6                  | 66,5                  | 60,5                  | 53,5                          | UK Fix                            | 50                          | UK Fix                          | ACTS (V->V) 1,5 Mbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-4   |



CUADRO 1 (Continuación)

| Portadora número | Número de portadoras simultáneas | Velocidad binaria de canal de portadora única (kbit/s) | Anchura de banda de ruido (kHz) | Anchura de banda del canal (kHz) | C/N (dB) | Satélite              |                       | Estación terrena      |                       |                               |                                   |                             |                                 | Descripción de la portadora                            |
|------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------|
|                  |                                  |                                                        |                                 |                                  |          | p.i.r.e. máxima (dBW) | p.i.r.e. mínima (dBW) | p.i.r.e. máxima (dBW) | p.i.r.e. mínima (dBW) | Ganancia del transmisor (dBi) | Diagrama de antena del transmisor | Ganancia del receptor (dBi) | Diagrama de antena del receptor |                                                        |
| 50               | 1                                | 128                                                    | 76,8                            | 89,6                             | 10       | 23,9                  | 17,9                  | 50,8                  | 44,8                  | 63                            | UK Fix                            | 59,7                        | UK Fix                          | INTELSAT M3QL (K3->K3) 64 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-4  |
| 51               | 1                                | 128                                                    | 76,8                            | 89,6                             | 13,4     | 29,9                  | 23,9                  | 56,8                  | 50,8                  | 56                            | UK Fix                            | 51,7                        | UK Fix                          | INTELSAT M2QL (K2->K2) 64 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-4  |
| 52               | 1                                | 128                                                    | 153,6                           | 179,2                            | 11,9     | 35,6                  | 29,6                  | 62,5                  | 56,5                  | 50                            | UK Fix                            | 46,5                        | UK Fix                          | INTELSAT M1BL (K1->K1) 64 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-2  |
| 53               | 1                                | 128                                                    | 153,6                           | 179,2                            | 16,2     | 35,6                  | 29,6                  | 62,5                  | 56,5                  | 63                            | UK Fix                            | 51,7                        | UK Fix                          | INTELSAT S32BH (K3->K2) 64 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-2 |
| 54               | 1                                | 128                                                    | 153,6                           | 179,2                            | 17,9     | 41,5                  | 35,5                  | 68,4                  | 62,4                  | 50                            | UK Fix                            | 46,5                        | UK Fix                          | INTELSAT M1BH (K1->K1) 64 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-2  |
| 55               | 1                                | 9,6                                                    | 11,5                            | 13,4                             | 4,4      | 11,7                  | 5,7                   | 23,6                  | 17,6                  | 24,5                          | Intelsat Mob                      | 59,7                        | UK Fix                          | INTELSAT F3I (MT->K3) 4,8 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-2  |
| 56               | 1                                | 9,6                                                    | 11,5                            | 13,4                             | 4,4      | 13,6                  | 7,6                   | 25,5                  | 19,5                  | 24,5                          | Intelsat Mob                      | 51,7                        | UK Fix                          | INTELSAT F2I (MT->K2) 4,8 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-2  |
| 57               | 1                                | 9,6                                                    | 11,5                            | 13,4                             | 4,4      | 40                    | 34                    | 66,9                  | 60,9                  | 63                            | UK Fix                            | 23                          | Intelsat Mob                    | INTELSAT F3O (K3->MT) 4,8 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-2  |
| 58               | 1                                | 9,6                                                    | 11,5                            | 13,4                             | 4,4      | 40                    | 34                    | 66,9                  | 60,9                  | 56                            | UK Fix                            | 23                          | Intelsat Mob                    | INTELSAT F2O (K2->MT) 4,8 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-2  |
| 59               | 652                              | 9,6                                                    | 7 617                           | 8 064                            | 4,4      | 42,7                  | 36,7                  | 54,6                  | 48,6                  | 24,5                          | Intelsat Mob                      | 59,7                        | UK Fix                          | INTELSAT C3I (MT->K3) 4,8 kbit/s + 1/2 FEC AMDC MDP-2  |
| 60               | 652                              | 9,6                                                    | 7 617                           | 8 064                            | 4,4      | 43,2                  | 37,2                  | 55,1                  | 49,1                  | 24,5                          | Intelsat Mob                      | 51,7                        | UK Fix                          | INTELSAT C2I (MT->K3) 4,8 kbit/s + 1/2 FEC AMDC MDP-2  |
| 61               | 652                              | 9,6                                                    | 7 617                           | 8 064                            | 4,4      | 68,3                  | 62,3                  | 95,2                  | 89,2                  | 63                            | UK Fix                            | 23                          | Intelsat Mob                    | INTELSAT C3O (K3->MT) 4,8 kbit/s + 1/2 FEC AMDC MDP-2  |
| 62               | 652                              | 9,6                                                    | 7 617                           | 8 064                            | 4,4      | 68,3                  | 62,3                  | 95,2                  | 89,2                  | 56                            | UK Fix                            | 23                          | Intelsat Mob                    | INTELSAT C2O (K2->MT) 4,8 kbit/s + 1/2 FEC AMDC MDP-2  |
| 80               | 1                                | 5,2                                                    | 6,2                             | 12,4                             | 6,2      | 43,3                  | 37,3                  | 57,7                  | 51,7                  | 49,7                          | Canada Fix                        | 18,9                        | Canada Mob                      | CANADA (MUMM->SUR) 2,4 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-2     |
| 81               | 1                                | 5,2                                                    | 6,2                             | 12,4                             | 2,7      | 18,5                  | 12,5                  | 22,9                  | 16,9                  | 20,8                          | Canada Mob                        | 46,2                        | Canada Fix                      | CANADA (SUR->MUMM) 2,4 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-4     |
| 82               | 1                                | 472                                                    | 283                             | 300                              | 9,7      | 53,9                  | 47,9                  | 77,6                  | 71,6                  | 49,7                          | Canada Fix                        | 30,2                        | Canada Mob                      | CANADA (MUMM->MMM) 144 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-4     |
| 83               | 1                                | 472                                                    | 283                             | 300                              | 11       | 44                    | 38                    | 45,7                  | 39,7                  | 33,7                          | Canada Mob                        | 46,2                        | Canada Fix                      | CANADA (MMM->MUMM) 144 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-4     |
| 84               | 1                                | 733,2                                                  | 440                             | 500                              | 8,3      | 47,8                  | 41,8                  | 78,1                  | 72,1                  | 49,7                          | Canada Fix                        | 33,7                        | Canada Mob                      | CANADA (MUMM->FMM) 256 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-4     |
| 85               | 1                                | 733,2                                                  | 440                             | 500                              | 9,6      | 44,5                  | 38,5                  | 43,2                  | 37,2                  | 37,3                          | Canada Mob                        | 46,2                        | Canada Fix                      | CANADA (FMM->MUMM) 256 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-4     |
| 86               | 1                                | 3 740                                                  | 2 244                           | 2 594                            | 12,2     | 52,3                  | 46,3                  | 76,7                  | 70,7                  | 49,7                          | Canada Fix                        | 46,2                        | Canada Fix                      | CANADA (MUMM->MUMM) 1,544 kbit/s + 1/2 FEC AMDF MDP-4  |

**CUADRO 2**  
**Relaciones de protección requeridas**

| Portadora deseada | Portadora interferente |      |       |       |       |       |       |      |      |      |      |       |       |       |       |      |       |      |       |
|-------------------|------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|
|                   | 8                      | 9    | 10    | 15    | 16    | 17    | 18    | 21   | 22   | 25   | 26   | 30    | 31    | 32    | 33    | 40   | 41    | 42   | 43    |
| 8                 | 25,4                   | 50,1 | 38,4  | 30,2  | 30,2  | 25,4  | 25,4  | 00,0 | 00,0 | 03,0 | 03,0 | 30,5  | 30,5  | 25,4  | 25,4  | 51,1 | 38,4  | 61,1 | 39,5  |
| 9                 | -9,9                   | 19,0 | 4,0   | 1,3   | 1,3   | -8,7  | -8,7  | 25,0 | 25,0 | 20,0 | 28,0 | 1,5   | 1,5   | -0,5  | -0,5  | 10,4 | 4,4   | 10,4 | 4,9   |
| 10                | 5,1                    | 32,0 | 19,0  | 10,3  | 10,3  | 0,3   | 0,3   | 40,3 | 40,3 | 43,3 | 43,3 | 16,5  | 16,5  | 0,6   | 0,6   | 30,8 | 19,0  | 30,8 | 19,0  |
| 15                | 1,3                    | 28,0 | 12,5  | 12,5  | 12,6  | 2,6   | 2,5   | 30,5 | 30,5 | 39,5 | 39,5 | 12,5  | 12,6  | 2,7   | 2,7   | 20,8 | 12,8  | 20,8 | 12,5  |
| 16                | 1,3                    | 20,9 | 12,5  | 12,5  | 12,5  | 2,5   | 2,6   | 30,5 | 30,5 | 38,5 | 38,5 | 12,5  | 12,5  | 2,7   | 2,7   | 20,8 | 12,8  | 20,8 | 12,5  |
| 17                | 11,3                   | 30,0 | 24,3  | 22,0  | 22,0  | 12,6  | 12,5  | 40,6 | 40,5 | 48,5 | 48,5 | 22,5  | 22,5  | 12,5  | 12,5  | 37,0 | 24,3  | 37,0 | 25,3  |
| 18                | 11,3                   | 30,0 | 24,3  | 22,9  | 22,0  | 12,5  | 12,6  | 40,5 | 40,5 | 49,6 | 49,6 | 22,6  | 22,5  | 12,5  | 12,5  | 37,0 | 24,3  | 37,0 | 26,3  |
| 21                | -20,1                  | 8,8  | -0,2  | -8,8  | -0,9  | -18,9 | -10,0 | 10,5 | 10,5 | 10,8 | 10,8 | -8,7  | -8,7  | -18,7 | -18,7 | 0,2  | -6,8  | 0,2  | -5,3  |
| 22                | -20,8                  | 8,1  | -0,9  | -9,0  | -9,0  | -19,0 | -19,0 | 15,0 | 15,8 | 15,0 | 15,0 | -9,4  | -9,4  | -19,4 | -19,4 | 5,8  | -0,5  | 5,5  | 0,0   |
| 25                | -25,0                  | 3,9  | -11,1 | -13,8 | -13,8 | -23,8 | -23,8 | 11,0 | 11,0 | 10,4 | 10,4 | -13,0 | -13,0 | -23,0 | -23,0 | 1,3  | -10,8 | 1,3  | -10,2 |
| 26                | -25,8                  | 3,1  | -11,9 | -14,0 | -14,0 | -24,0 | -24,0 | 10,8 | 10,8 | 15,0 | 15,0 | -14,4 | -14,4 | -24,4 | -24,4 | 0,5  | -11,5 | 0,5  | -11,0 |
| 30                | 1,3                    | 28,9 | 12,7  | 12,5  | 12,5  | 2,6   | 2,6   | 30,6 | 30,5 | 39,5 | 39,6 | 12,7  | 12,7  | 2,7   | 2,7   | 20,8 | 12,7  | 20,8 | 12,7  |
| 31                | 1,3                    | 28,9 | 12,7  | 12,6  | 12,6  | 2,6   | 2,6   | 30,6 | 30,5 | 39,5 | 39,6 | 12,7  | 12,7  | 2,7   | 2,7   | 20,8 | 12,7  | 20,8 | 12,7  |
| 32                | 11,3                   | 39,0 | 24,5  | 21,7  | 21,7  | 12,6  | 12,6  | 40,6 | 40,5 | 49,5 | 49,5 | 22,2  | 22,2  | 12,7  | 12,7  | 37,0 | 24,2  | 37,0 | 25,6  |
| 33                | 11,3                   | 39,0 | 24,5  | 21,7  | 21,7  | 12,6  | 12,6  | 40,6 | 40,5 | 49,6 | 40,5 | 22,2  | 22,2  | 12,7  | 12,7  | 37,0 | 24,2  | 37,0 | 26,6  |
| 40                | -9,0                   | 17,3 | 4,9   | 2,2   | 2,2   | -7,8  | -7,8  | 26,0 | 25,0 | 20,1 | 20,1 | 2,4   | 2,4   | -7,0  | -7,0  | 17,3 | 6,9   | 17,3 | 6,8   |
| 41                | 8,7                    | 30,2 | 22,0  | 18,8  | 18,8  | 8,8   | 8,8   | 43,9 | 43,9 | 40,9 | 40,9 | 20,1  | 20,1  | 10,1  | 10,1  | 34,1 | 23,0  | 34,1 | 23,0  |
| 42                | -8,1                   | 18,2 | 5,8   | 3,1   | 3,1   | -0,9  | -0,9  | 20,7 | 20,7 | 30,0 | 30,0 | 3,3   | 3,3   | -0,7  | -0,7  | 18,2 | 0,2   | 18,2 | 0,7   |
| 43                | 9,1                    | 30,7 | 23,0  | 20,3  | 20,3  | 10,3  | 10,3  | 44,3 | 44,3 | 47,3 | 47,3 | 20,5  | 20,5  | 10,6  | 10,6  | 34,7 | 23,4  | 34,7 | 23,9  |
| 50                | -7,1                   | 21,8 | 0,7   | 4,1   | 4,1   | -5,9  | -5,9  | 27,0 | 27,0 | 30,7 | 30,7 | 4,2   | 4,2   | -6,8  | -6,8  | 19,2 | 7,1   | 19,2 | 7,7   |
| 51                | -3,7                   | 28,2 | 10,1  | 7,6   | 7,6   | -2,8  | -2,8  | 30,4 | 30,4 | 34,1 | 34,1 | 7,0   | 7,0   | -2,4  | -2,4  | 22,0 | 10,0  | 22,0 | 11,1  |
| 52                | -2,2                   | 24,1 | 11,7  | 9,0   | 9,0   | -1,0  | -1,0  | 32,0 | 32,0 | 35,9 | 35,9 | 9,2   | 8,2   | -0,8  | -0,8  | 24,1 | 12,1  | 23,1 | 12,0  |
| 53                | 2,1                    | 20,4 | 10,0  | 13,3  | 13,3  | 3,3   | 3,3   | 30,0 | 30,0 | 40,2 | 40,2 | 13,5  | 13,5  | 3,5   | 3,5   | 20,4 | 10,4  | 20,4 | 10,9  |
| 54                | 3,0                    | 30,1 | 17,7  | 15,0  | 16,0  | 5,0   | 6,0   | 38,0 | 38,0 | 41,9 | 41,9 | 15,2  | 15,2  | 5,2   | 5,2   | 30,1 | 18,1  | 30,1 | 18,0  |
| 55                | -21,0                  | 7,9  | -7,1  | -9,8  | -9,8  | -19,8 | -19,8 | 15,0 | 15,0 | 10,0 | 10,0 | -9,0  | -9,0  | -19,0 | -19,0 | 5,3  | -0,7  | 5,3  | -0,2  |
| 56                | -21,0                  | 7,9  | -7,1  | -9,8  | -9,8  | -19,8 | -19,8 | 15,0 | 15,0 | 10,0 | 10,0 | -9,0  | -9,0  | -19,0 | -19,0 | 6,3  | -0,7  | 5,3  | -0,2  |
| 57                | -21,0                  | 7,9  | -7,1  | -9,8  | -9,8  | -19,8 | -19,8 | 15,0 | 15,0 | 10,0 | 10,0 | -9,0  | -9,0  | -19,0 | -19,0 | 5,3  | -0,7  | 5,3  | -0,2  |
| 58                | -21,0                  | 7,9  | -7,1  | -9,8  | -9,8  | -19,8 | -19,8 | 15,0 | 15,0 | 10,0 | 10,0 | -9,0  | -9,0  | -19,0 | -19,0 | 6,3  | -0,7  | 5,3  | -0,2  |
| 59                | -0,2                   | 27,5 | 12,2  | 9,2   | 9,2   | 1,0   | 1,0   | 35,0 | 35,0 | 38,0 | 38,0 | 9,2   | 9,2   | 1,2   | 1,2   | 25,4 | 12,2  | 25,4 | 14,0  |
| 60                | -0,2                   | 27,5 | 12,2  | 9,2   | 9,2   | 1,0   | 1,0   | 35,0 | 35,0 | 38,0 | 38,0 | 9,2   | 9,2   | 1,2   | 1,2   | 25,4 | 12,2  | 25,4 | 14,0  |
| 61                | -0,2                   | 27,5 | 12,2  | 9,2   | 9,2   | 1,0   | 1,0   | 35,0 | 35,0 | 38,0 | 38,0 | 9,2   | 9,2   | 1,2   | 1,2   | 25,4 | 12,2  | 25,4 | 14,0  |
| 62                | -0,2                   | 27,5 | 12,2  | 9,2   | 9,2   | 1,0   | 1,0   | 35,0 | 35,0 | 38,0 | 38,0 | 9,2   | 9,2   | 1,2   | 1,2   | 25,4 | 12,2  | 25,4 | 14,0  |
| 80                | -21,9                  | 7,0  | -0,0  | -10,7 | -10,7 | -20,7 | -20,7 | 14,7 | 14,7 | 28,4 | 18,4 | -10,5 | -10,5 | -20,5 | -20,5 | 4,5  | -7,0  | 4,5  | -7,1  |
| 81                | -25,4                  | 3,5  | -11,5 | -14,2 | -14,2 | -24,2 | -24,2 | 11,2 | 11,2 | 14,8 | 14,8 | -14,0 | -14,0 | -24,0 | -24,0 | 1,0  | -11,1 | 1,0  | -10,0 |
| 82                | -1,8                   | 24,9 | 12,1  | 9,4   | 9,4   | -0,8  | -0,8  | 33,4 | 33,4 | 30,4 | 30,4 | 9,0   | 0,0   | -0,4  | -0,4  | 21,8 | 12,5  | 21,9 | 13,0  |
| 83                | -0,5                   | 20,2 | 13,4  | 10,7  | 10,7  | 0,7   | 0,7   | 34,7 | 34,7 | 37,7 | 37,7 | 10,9  | 10,9  | 0,8   | 0,8   | 23,2 | 13,8  | 23,2 | 14,8  |
| 84                | -1,2                   | 25,3 | 12,0  | 9,9   | 9,9   | -0,1  | -0,1  | 33,9 | 33,9 | 30,9 | 30,9 | 10,1  | 10,1  | 0,1   | 0,1   | 23,5 | 13,0  | 23,5 | 13,5  |
| 85                | 0,0                    | 20,0 | 13,9  | 11,2  | 11,2  | 1,2   | 1,2   | 36,2 | 35,2 | 38,2 | 38,2 | 11,4  | 11,4  | 1,4   | 1,4   | 24,8 | 14,3  | 24,8 | 14,8  |
| 86                | 9,7                    | 37,2 | 23,0  | 20,9  | 20,9  | 10,9  | 10,9  | 44,9 | 44,9 | 47,9 | 47,9 | 21,1  | 21,1  | 11,1  | 11,1  | 35,2 | 24,0  | 35,2 | 24,4  |

CUADRO 2 (Continuación)

| Portadora deseada | Portadora interferente |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |       |
|-------------------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|
|                   | 50                     | 51   | 52   | 53   | 54   | 55   | 56   | 57   | 58   | 59    | 60    | 61    | 62    | 80   | 81   | 82   | 83   | 84   | 85   | 86    |
| 8                 | 54,1                   | 54,1 | 51,1 | 61,1 | 51,1 | 62,3 | 62,3 | 62,3 | 62,3 | 34,4  | 34,4  | 34,4  | 34,4  | 62,7 | 62,7 | 48,8 | 48,8 | 40,0 | 40,0 | 39,4  |
| 9                 | 19,0                   | 19,0 | 10,4 | 10,4 | 10,4 | 20,8 | 20,8 | 20,8 | 20,8 | -0,5  | -0,5  | -0,5  | -0,5  | 20,8 | 20,8 | 13,8 | 13,8 | 11,9 | 11,9 | 4,8   |
| 10                | 32,8                   | 33,8 | 30,8 | 30,8 | 30,8 | 42,0 | 42,0 | 42,0 | 42,0 | 14,5  | 14,5  | 14,5  | 14,5  | 42,4 | 42,4 | 28,5 | 28,5 | 20,0 | 20,0 | 19,0  |
| 15                | 20,8                   | 29,9 | 20,8 | 20,8 | 20,8 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 10,7  | 10,7  | 10,7  | 10,7  | 30,0 | 30,0 | 24,5 | 24,5 | 22,5 | 22,5 | 12,5  |
| 16                | 29,9                   | 29,9 | 20,8 | 20,8 | 20,8 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 10,7  | 10,7  | 10,7  | 10,7  | 30,0 | 30,0 | 24,5 | 24,5 | 22,5 | 22,5 | 12,5  |
| 17                | 40,0                   | 40,0 | 37,0 | 37,0 | 37,0 | 40,2 | 40,2 | 40,2 | 40,2 | 20,3  | 20,3  | 20,3  | 20,3  | 48,0 | 48,0 | 34,7 | 34,7 | 32,5 | 32,5 | 25,3  |
| 18                | 40,0                   | 40,0 | 37,0 | 37,0 | 37,0 | 40,2 | 40,2 | 40,2 | 40,2 | 20,3  | 20,3  | 20,3  | 20,3  | 48,0 | 48,0 | 34,7 | 34,7 | 32,5 | 32,5 | 25,3  |
| 21                | 9,2                    | 9,2  | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 10,5 | -10,7 | -10,7 | -10,7 | -10,7 | 10,5 | 10,5 | 3,0  | 3,0  | 1,0  | 1,0  | -5,4  |
| 22                | 8,6                    | 8,5  | 5,5  | 5,5  | 5,5  | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | -11,4 | -11,4 | -11,4 | -11,4 | 15,0 | 16,8 | 2,9  | 2,9  | 0,9  | 0,9  | -0,1  |
| 25                | 4,4                    | 4,4  | 1,3  | 1,3  | 1,3  | 12,0 | 12,0 | 12,0 | 12,0 | -15,0 | -15,0 | -15,0 | -15,0 | 15,3 | 15,3 | -1,3 | -1,3 | -3,2 | -3,2 | -10,3 |
| 26                | 3,0                    | 3,0  | 0,5  | 0,5  | 0,5  | 11,8 | 11,8 | 11,8 | 11,8 | -10,4 | -10,4 | -10,4 | -10,4 | 14,5 | 14,5 | -2,1 | -2,1 | -4,0 | -4,0 | -11,1 |
| 30                | 29,8                   | 29,9 | 20,8 | 20,8 | 20,8 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 10,7  | 10,7  | 10,7  | 10,7  | 38,0 | 38,0 | 24,7 | 24,7 | 22,2 | 22,2 | 12,7  |
| 31                | 29,8                   | 29,9 | 20,8 | 20,8 | 20,8 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 30,2 | 10,7  | 10,7  | 10,7  | 10,7  | 38,0 | 38,0 | 24,7 | 24,7 | 22,2 | 22,2 | 12,7  |
| 32                | 40,0                   | 40,0 | 37,0 | 37,0 | 37,0 | 40,2 | 40,2 | 40,2 | 40,2 | 10,7  | 10,7  | 10,7  | 10,7  | 48,0 | 48,0 | 34,7 | 34,7 | 32,5 | 32,5 | 25,3  |
| 33                | 40,0                   | 40,0 | 37,0 | 37,0 | 37,0 | 40,2 | 40,2 | 40,2 | 40,2 | 10,7  | 10,7  | 10,7  | 10,7  | 48,0 | 48,0 | 34,7 | 34,7 | 32,5 | 32,5 | 25,3  |
| 40                | 17,3                   | 17,3 | 17,3 | 17,3 | 17,3 | 27,7 | 27,7 | 27,7 | 27,7 | 0,3   | 0,3   | 0,3   | 0,3   | 28,1 | 28,1 | 14,0 | 14,0 | 12,7 | 12,7 | 6,7   |
| 41                | 37,3                   | 37,3 | 34,1 | 34,1 | 34,1 | 45,0 | 45,0 | 45,0 | 45,0 | 10,1  | 10,1  | 10,1  | 10,1  | 40,0 | 40,0 | 32,0 | 32,0 | 28,0 | 28,0 | 23,0  |
| 42                | 18,2                   | 18,2 | 10,2 | 18,2 | 10,2 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 20,0 | 1,2   | 1,2   | 1,2   | 1,2   | 29,0 | 29,0 | 15,5 | 15,5 | 13,0 | 13,0 | 0,0   |
| 45                | 37,7                   | 37,7 | 34,7 | 34,7 | 34,7 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 18,5  | 18,5  | 18,5  | 18,5  | 40,3 | 40,3 | 32,4 | 32,4 | 29,9 | 29,9 | 23,8  |
| 50                | 22,2                   | 22,2 | 18,2 | 18,2 | 18,2 | 28,2 | 28,2 | 28,2 | 28,2 | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 2,2   | 30,0 | 30,0 | 10,6 | 10,6 | 14,0 | 14,0 | 7,6   |
| 51                | 25,0                   | 26,0 | 22,0 | 22,0 | 22,0 | 32,0 | 32,0 | 32,0 | 32,0 | 5,0   | 6,0   | 6,0   | 5,0   | 33,4 | 33,4 | 19,9 | 19,9 | 18,0 | 18,0 | 10,9  |
| 52                | 24,1                   | 24,1 | 24,1 | 24,1 | 24,1 | 34,6 | 34,6 | 34,6 | 34,6 | 7,1   | 7,1   | 7,1   | 7,1   | 34,9 | 34,9 | 21,4 | 21,4 | 19,5 | 19,5 | 12,5  |
| 53                | 28,4                   | 28,4 | 20,4 | 20,4 | 20,4 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 30,0 | 11,4  | 11,4  | 11,4  | 11,4  | 39,2 | 39,2 | 25,7 | 25,7 | 23,0 | 23,0 | 10,0  |
| 54                | 30,1                   | 30,1 | 30,1 | 30,1 | 30,1 | 40,5 | 40,5 | 40,5 | 40,5 | 13,1  | 13,1  | 13,1  | 13,1  | 40,0 | 40,0 | 27,4 | 27,4 | 26,5 | 26,5 | 18,5  |
| 55                | 8,4                    | 8,4  | 5,3  | 5,3  | 5,3  | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | -11,0 | -11,0 | -11,0 | -11,0 | 10,0 | 10,0 | 2,7  | 2,7  | 0,8  | 0,8  | -0,3  |
| 56                | 8,4                    | 8,4  | 5,3  | 5,3  | 5,3  | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | -11,0 | -11,0 | -11,0 | -11,0 | 10,0 | 10,0 | 2,7  | 2,7  | 0,8  | 0,8  | -0,3  |
| 57                | 8,4                    | 8,4  | 5,3  | 5,3  | 5,3  | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | -11,0 | -11,0 | -11,0 | -11,0 | 10,0 | 10,0 | 2,7  | 2,7  | 0,8  | 0,8  | -0,3  |
| 58                | 8,4                    | 8,4  | 5,3  | 5,3  | 5,3  | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | -11,0 | -11,0 | -11,0 | -11,0 | 10,0 | 10,0 | 2,7  | 2,7  | 0,8  | 0,8  | -0,3  |
| 59                | 28,5                   | 28,5 | 25,4 | 25,4 | 25,4 | 30,7 | 30,7 | 30,7 | 30,7 | 9,2   | 9,2   | 9,2   | 9,2   | 37,1 | 37,1 | 23,2 | 23,2 | 21,0 | 21,0 | 12,2  |
| 60                | 28,5                   | 28,5 | 25,4 | 25,4 | 25,4 | 30,7 | 30,7 | 30,7 | 30,7 | 9,2   | 9,2   | 9,2   | 9,2   | 37,1 | 37,1 | 23,2 | 23,2 | 21,0 | 21,0 | 12,2  |
| 61                | 28,5                   | 28,5 | 25,4 | 25,4 | 25,4 | 30,7 | 30,7 | 30,7 | 30,7 | 9,2   | 9,2   | 9,2   | 9,2   | 37,1 | 37,1 | 23,2 | 23,2 | 21,0 | 21,0 | 12,2  |
| 62                | 28,5                   | 28,5 | 25,4 | 25,4 | 25,4 | 30,7 | 30,7 | 30,7 | 30,7 | 9,2   | 9,2   | 9,2   | 9,2   | 37,1 | 37,1 | 23,2 | 23,2 | 21,0 | 21,0 | 12,2  |
| 80                | 7,5                    | 7,5  | 4,5  | 4,5  | 4,5  | 15,7 | 15,7 | 15,7 | 15,7 | -12,5 | -12,5 | -12,5 | -12,5 | 18,4 | 18,4 | 1,0  | 1,0  | -0,1 | -0,1 | -7,2  |
| 81                | 4,0                    | 4,0  | 1,0  | 1,0  | 1,0  | 12,2 | 12,2 | 12,2 | 12,2 | -10,0 | -10,0 | -10,0 | -10,0 | 14,9 | 14,9 | -1,7 | -1,7 | -3,0 | -3,0 | -10,7 |
| 82                | 26,7                   | 20,7 | 21,9 | 21,9 | 21,9 | 35,1 | 35,1 | 35,1 | 35,1 | 7,0   | 7,0   | 7,0   | 7,0   | 35,3 | 35,3 | 21,0 | 21,0 | 20,0 | 20,0 | 12,9  |
| 83                | 28,0                   | 20,0 | 23,2 | 23,2 | 23,2 | 30,4 | 30,4 | 30,4 | 30,4 | 8,9   | 8,9   | 8,9   | 8,9   | 30,0 | 30,0 | 23,2 | 23,2 | 21,3 | 21,3 | 14,2  |
| 84                | 20,5                   | 20,6 | 23,5 | 23,5 | 23,5 | 35,0 | 35,0 | 35,0 | 35,0 | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 0,1   | 35,0 | 35,0 | 20,5 | 20,5 | 20,5 | 20,5 | 13,4  |
| 85                | 27,8                   | 27,8 | 24,8 | 24,8 | 24,8 | 30,9 | 30,9 | 30,9 | 30,9 | 9,4   | 9,4   | 9,4   | 9,4   | 37,2 | 37,2 | 21,8 | 21,8 | 21,8 | 21,8 | 14,7  |
| 86                | 38,4                   | 38,4 | 35,2 | 35,2 | 35,2 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 10,1  | 10,1  | 10,1  | 10,1  | 47,0 | 47,0 | 32,9 | 32,9 | 30,4 | 30,4 | 24,4  |

**CUADRO 3**  
**Ángulos de separación entre satélites**

| Portadora deseada | Portadora interferente |      |      |      |     |      |      |         |        |         |        |        |        |      |                    |     |      |     |      |
|-------------------|------------------------|------|------|------|-----|------|------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|------|--------------------|-----|------|-----|------|
|                   | 8                      | 9    | 10   | 15   | 16  | 17   | 18   | 21      | 22     | 25      | 26     | 30     | 31     | 32   | 33                 | 40  | 41   | 42  | 43   |
| 8                 | 1,2                    | 1,0  | 1,0  | 1,1  | 1,4 | 1,0  | 1,4  | 17,0    | 4,4    | 30,0    | 0,1    | 4,9    | 0,0    | 1,4  | 0,5                | 1,0 | 2,0  | 1,0 | 1,1  |
| 9                 | 3,7                    | 3,3  | 3,3  | 3,4  | 3,2 | 3,4  | 3,2  | [-3,7]  | 15,0   | [-9,0]  | 22,5   | 16,7   | 19,2   | 5,0  | 3,7                | 2,0 | 0,5  | 2,2 | 3,3  |
| 10                | 3,7                    | 2,9  | 3,3  | 3,4  | 3,2 | 3,4  | 3,2  | [-3,0]  | 10,1   | [-9,0]  | 22,8   | 15,8   | 19,1   | 5,0  | 3,9 <sup>(1)</sup> | 1,9 | 0,3  | 2,0 | 3,0  |
| 15                | 3,4                    | 2,2  | 1,9  | 3,4  | 1,7 | 3,1  | 1,7  | 20,9    | 4,9    | 35,2    | 0,0    | 10,0   | 2,5    | 5,3  | 1,7                | 1,7 | 2,1  | 1,7 | 1,4  |
| 16                | 2,8                    | 2,4  | 2,2  | 2,3  | 2,0 | 2,3  | 2,0  | 47,5    | 14,7   | [-8,0]  | 21,0   | 9,2    | 11,3   | 3,0  | 3,5                | 1,0 | 4,5  | 1,7 | 2,1  |
| 17                | 3,4                    | 2,2  | 2,2  | 3,3  | 1,7 | 3,4  | 1,7  | 20,9    | 4,9    | 35,2    | 0,0    | 10,0   | 2,5    | 6,3  | 1,7                | 1,7 | 2,5  | 1,7 | 1,0  |
| 18                | 2,0                    | 2,4  | 2,5  | 2,2  | 2,0 | 2,3  | 2,9  | 47,6    | 14,7   | [-8,0]  | 21,0   | 9,2    | 11,3   | 2,9  | 3,4                | 1,0 | 5,2  | 1,0 | 2,8  |
| 21                | 15,3                   | 10,0 | 10,7 | 15,9 | 5,1 | 16,9 | 6,1  | [-0,1]  | 15,9   | 44,5    | 13,1   | [-5,3] | 4,4    | 24,9 | 4,4                | 4,5 | 5,0  | 4,5 | 1,0  |
| 22                | 3,7                    | 3,7  | 3,7  | 3,1  | 3,8 | 3,1  | 3,8  | [-7,5]  | 22,5   | [-10,5] | 24,4   | 12,8   | 23,5   | 4,1  | 4,1                | 2,3 | 7,0  | 2,5 | 4,0  |
| 25                | 21,4                   | 10,3 | 10,3 | 22,2 | 5,2 | 22,2 | 5,2  | [-1,1]  | 22,2   | [-4,9]  | 28,4   | [-0,4] | 2,7    | 34,7 | 2,7                | 3,3 | 7,2  | 3,3 | 0,0  |
| 26                | 3,7                    | 3,5  | 3,5  | 3,2  | 3,0 | 3,2  | 3,0  | [-0,7]  | 20,8   | [-14,4] | 34,0   | 14,1   | 21,7   | 4,5  | 4,0                | 2,2 | 7,3  | 2,3 | 3,7  |
| 30                | 11,8                   | 4,5  | 3,0  | 12,2 | 4,2 | 12,2 | 4,2  | [-0,6]  | 22,0   | [-12,3] | 31,0   | [-2,7] | 23,0   | 29,7 | 4,3                | 2,2 | 0,5  | 2,4 | 2,9  |
| 31                | 7,4                    | 7,1  | 0,4  | 5,2  | 8,7 | 5,2  | 8,7  | [-16,2] | [-1,0] | [-21,2] | [-2,0] | 15,4   | 54,6   | 5,0  | 12,2               | 4,7 | 14,0 | 6,2 | 0,7  |
| 32                | 14,8                   | 8,4  | 8,8  | 14,2 | 6,3 | 15,2 | 6,0  | [-0,8]  | 22,4   | [-12,4] | 30,3   | [-4,8] | 22,0   | 23,0 | 0,0                | 4,5 | 0,3  | 4,5 | 4,4  |
| 33                | 8,8                    | 8,5  | 9,0  | 5,6  | 9,7 | 6,9  | 10,6 | [-17,2] | [-3,0] | [-23,2] | [-4,0] | 14,7   | [-0,2] | 5,1  | 14,7               | 6,7 | 19,2 | 0,3 | 10,3 |
| 40                | 9,5                    | 6,0  | 7,1  | 9,0  | 5,4 | 9,0  | 5,4  | [-7,6]  | 22,4   | [-13,0] | 32,5   | 47,3   | 27,0   | 14,0 | 0,0                | 4,0 | 9,0  | 4,1 | 4,8  |
| 41                | 11,8                   | 7,2  | 8,2  | 12,2 | 4,9 | 12,2 | 4,9  | 34,8    | 11,3   | 45,2    | 12,0   | [-5,0] | 6,1    | 10,1 | 4,3                | 4,1 | 5,8  | 4,1 | 2,9  |
| 42                | 5,3                    | 3,7  | 4,7  | 4,8  | 4,5 | 4,8  | 4,8  | [-7,1]  | 21,0   | [-13,4] | 31,8   | 22,9   | 20,7   | 7,2  | 4,4                | 2,8 | 8,1  | 3,0 | 4,5  |
| 43                | 12,2                   | 7,0  | 8,0  | 12,0 | 6,3 | 12,0 | 6,3  | 46,7    | 14,5   | [-7,0]  | 18,5   | [-0,0] | 8,8    | 18,8 | 4,7                | 4,3 | 0,9  | 4,3 | 3,5  |
| 50                | 3,3                    | 2,0  | 2,0  | 3,2  | 2,2 | 3,2  | 2,2  | 30,8    | 9,0    | [-4,0]  | 14,5   | 18,6   | 8,8    | 4,9  | 2,0                | 1,6 | 4,3  | 1,0 | 2,2  |
| 51                | 5,0                    | 3,0  | 3,0  | 6,2  | 2,4 | 6,2  | 2,4  | 26,7    | 0,1    | 45,7    | 11,0   | 25,6   | 0,7    | 8,0  | 2,5                | 2,0 | 3,8  | 2,0 | 1,9  |
| 52                | 5,8                    | 3,0  | 3,8  | 0,0  | 2,4 | 6,0  | 2,4  | 21,2    | 0,3    | 33,9    | 7,2    | 28,0   | 3,1    | 8,8  | 2,2                | 2,1 | 3,8  | 2,1 | 1,7  |
| 53                | 5,1                    | 2,8  | 3,0  | 6,2  | 2,5 | 6,2  | 2,6  | 27,7    | 0,7    | 47,4    | 12,3   | 25,8   | 0,0    | 0,1  | 2,6                | 2,0 | 3,9  | 2,0 | 2,0  |
| 54                | 5,5                    | 3,1  | 3,9  | 5,7  | 2,4 | 6,7  | 2,4  | 21,4    | 0,8    | 34,3    | 7,2    | 20,2   | 3,1    | 8,8  | 2,2                | 2,1 | 3,9  | 2,1 | 1,7  |
| 55                | 8,9                    | 0,2  | 0,3  | 4,2  | 0,8 | 4,2  | 0,8  | [-13,9] | 40,5   | [-17,8] | 40,1   | 13,4   | 42,6   | 4,3  | 9,0                | 4,0 | 14,3 | 4,4 | 7,1  |
| 56                | 0,1                    | 5,7  | 8,7  | 8,3  | 8,8 | 8,3  | 6,8  | [-12,1] | 34,1   | [-10,0] | 40,6   | 23,4   | 35,7   | 7,4  | 0,1                | 3,5 | 12,0 | 3,8 | 0,0  |
| 57                | 20,2                   | 14,0 | 14,1 | 21,0 | 0,0 | 21,0 | 0,0  | [-2,2]  | 0,0    | [-2,2]  | 0,0    | [-7,5] | 0,0    | 0,0  | 0,0                | 0,0 | 9,8  | 0,0 | 0,3  |
| 58                | 20,2                   | 14,0 | 14,1 | 21,0 | 0,0 | 21,0 | 0,0  | [-2,2]  | 0,0    | [-2,2]  | 0,2    | [-7,5] | 0,0    | 0,0  | 0,0                | 0,0 | 9,8  | 0,0 | 0,3  |
| 59                | 2,3                    | 2,2  | 2,2  | 1,4  | 2,3 | 1,7  | 2,7  | 44,9    | 13,0   | [-8,3]  | 19,9   | 4,4    | 9,8    | 1,7  | 3,3                | 1,6 | 4,7  | 1,8 | 2,7  |
| 60                | 2,7                    | 2,3  | 2,3  | 2,0  | 2,2 | 2,3  | 2,0  | 43,0    | 13,3   | [-7,8]  | 19,1   | 0,7    | 9,4    | 3,3  | 3,2                | 1,5 | 4,5  | 1,0 | 2,5  |
| 61                | 10,2                   | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 20,4    | 0,0    | 34,1    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0  | 0,0                | 0,0 | 0,2  | 0,0 | 0,0  |
| 62                | 10,2                   | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0 | 0,0  | 0,0  | 20,4    | 0,0    | 34,1    | 0,0    | 0,0    | 0,0    | 0,0  | 0,0                | 0,0 | 0,2  | 0,0 | 0,0  |
| 80                | 29,9                   | 28,9 | 29,9 | 29,9 | 1,0 | 29,0 | 1,0  | [-9,8]  | 28,8   | [-8,8]  | 29,8   | [-8,2] | 0,0    | 34,0 | 0,0                | 0,1 | 29,9 | 0,3 | 0,4  |
| 81                | 4,8                    | 4,7  | 4,7  | 3,9  | 4,9 | 3,9  | 4,9  | [-10,3] | 28,0   | [-10,9] | 43,9   | 10,5   | 30,3   | 5,2  | 0,8                | 2,8 | 10,2 | 3,2 | 5,1  |
| 82                | 10,8                   | 8,2  | 8,2  | 11,2 | 8,2 | 11,2 | 8,2  | 30,2    | 9,9    | 30,0    | 10,7   | [-1,7] | 9,2    | 17,0 | 8,2                | 8,2 | 8,2  | 0,2 | 8,2  |
| 83                | 5,4                    | 4,5  | 5,0  | 4,1  | 5,0 | 4,1  | 5,9  | [-10,8] | 30,0   | [-10,9] | 43,8   | 15,0   | 30,7   | 5,0  | 0,3                | 2,7 | 12,3 | 3,0 | 0,2  |
| 84                | 12,3                   | 0,9  | 8,0  | 12,7 | 5,5 | 12,7 | 5,5  | 34,4    | 11,2   | 41,0    | 12,2   | [-3,1] | 5,6    | 10,9 | 5,6                | 5,5 | 0,0  | 5,5 | 5,5  |
| 85                | 0,7                    | 5,7  | 7,2  | 4,0  | 7,8 | 4,0  | 7,0  | [-13,9] | 40,5   | [-10,9] | [-1,0] | 16,7   | 48,4   | 5,1  | 10,9               | 3,9 | 10,2 | 4,9 | 8,1  |
| 86                | 3,0                    | 2,3  | 2,6  | 3,8  | 1,7 | 3,0  | 1,7  | 16,7    | 4,5    | 20,9    | 5,0    | 18,0   | 1,7    | 5,9  | 1,5                | 1,3 | 2,4  | 1,3 | 1,3  |

CUADRO 3 (Continuación)

| Portadora deseada | Portadora interferente |      |      |      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |        |         |      |        |      |      |
|-------------------|------------------------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|------|--------|------|------|
|                   | 50                     | 51   | 52   | 53   | 54     | 55     | 56     | 57     | 58     | 59     | 60     | 61     | 62     | 80      | 81     | 82      | 83   | 84     | 85   | 86   |
| 8                 | 0,5                    | 1,4  | 2,9  | 1,1  | 4,9    | 0,4    | 7,8    | 4,4    | 7,2    | 8,6    | 8,9    | 4,6    | 7,5    | 6,4     | 24,0   | 9,7     | 5,5  | 0,1    | 3,0  | 3,7  |
| 9                 | 1,5                    | 4,1  | 9,0  | 3,4  | 15,5   | 18,4   | 21,9   | 13,0   | 20,9   | 25,8   | 27,0   | 14,2   | 22,0   | 18,4    | 31,3   | 29,4    | 13,3 | 26,2   | 0,0  | 11,8 |
| 10                | 1,4                    | 4,0  | 8,4  | 3,2  | 14,4   | 10,0   | 22,2   | 13,2   | 21,7   | 25,0   | 20,8   | 14,2   | 22,8   | 19,3    | 32,7   | 28,5    | 12,9 | 23,1   | 5,5  | 10,9 |
| 15                | 1,7                    | 2,2  | 3,7  | 2,5  | 0,3    | 7,2    | 8,6    | 10,0   | 11,9   | 8,0    | 10,3   | 11,3   | 12,8   | 14,8    | 24,0   | 13,7    | 5,9  | 9,8    | 3,9  | 4,1  |
| 16                | 1,2                    | 3,5  | 7,5  | 2,5  | 13,0   | 17,1   | 20,4   | 10,0   | 18,8   | 23,5   | 24,0   | 11,4   | 20,2   | 16,7    | 30,1   | 25,3    | 11,5 | 21,8   | 4,8  | 7,7  |
| 17                | 1,7                    | 2,2  | 3,8  | 2,5  | 0,4    | 7,2    | 8,5    | 10,0   | 11,9   | 9,5    | 10,0   | 10,9   | 12,3   | 14,8    | 24,0   | 13,9    | 0,0  | 8,8    | 3,0  | 5,3  |
| 18                | 1,2                    | 3,5  | 7,0  | 2,5  | 13,1   | 17,1   | 20,4   | 10,0   | 18,8   | 22,7   | 23,8   | 11,0   | 19,4   | 15,7    | 30,1   | 25,7    | 11,7 | 21,8   | 4,8  | 8,9  |
| 21                | 4,3                    | 0,7  | 12,0 | 12,0 | 20,0   | 0,0    | 2,2    | 40,2   | 40,2   | 3,0    | 3,9    | [-0,5] | [-0,5] | [-2,7]  | 6,1    | [-0,4]  | 20,3 | 24,1   | 17,6 | 18,1 |
| 22                | 1,7                    | 5,0  | 10,9 | 3,0  | 18,7   | 22,3   | 20,0   | 13,9   | 24,5   | 31,0   | 33,1   | 16,3   | 27,1   | 20,0    | 38,1   | 35,3    | 10,0 | 30,7   | 0,6  | 14,2 |
| 25                | 1,5                    | 9,3  | 11,1 | 11,1 | 28,7   | 0,0    | 0,0    | [-1,5] | [-1,5] | 0,0    | 0,0    | [-1,0] | [-1,0] | [-7,5]  | 8,9    | [-1,5]  | 28,3 | 33,7   | 24,9 | 20,0 |
| 26                | 1,0                    | 4,7  | 10,1 | 3,5  | 17,3   | 22,0   | 20,9   | 14,7   | 25,1   | 20,1   | 30,5   | 14,0   | 25,3   | 20,0    | [-0,3] | 32,8    | 14,9 | 28,4   | 0,4  | 13,2 |
| 30                | 1,5                    | 8,9  | 12,4 | 0,3  | 23,4   | 0,0    | 0,0    | 68,0   | 80,8   | 0,0    | 0,0    | 63,2   | [-0,8] | [-1,5]  | 40,8   | [-1,5]  | 21,8 | 30,4   | 13,0 | 14,1 |
| 31                | 3,3                    | 10,0 | 23,8 | 7,2  | 40,1   | [-3,1] | [-5,0] | 30,7   | [-5,0] | [-6,6] | [-7,1] | 32,0   | [-5,7] | 40,0    | [-7,9] | [-8,5]  | 30,0 | [-0,4] | 14,0 | 24,1 |
| 32                | 4,1                    | 8,2  | 13,8 | 11,0 | 23,8   | 23,1   | 27,6   | 40,3   | [-1,2] | 20,0   | 30,3   | 45,2   | [-1,0] | [-3,8]  | 40,7   | [-2,8]  | 23,0 | 34,3   | 10,8 | 20,2 |
| 33                | 3,9                    | 12,8 | 28,3 | 8,7  | [-8,2] | [-5,1] | [-7,0] | 30,0   | [-7,0] | [-7,0] | [-8,1] | 35,0   | [-0,7] | [-4,5]  | [-9,3] | [-10,5] | 43,3 | [-8,7] | 17,2 | 30,0 |
| 40                | 2,7                    | 5,0  | 13,0 | 7,7  | 23,3   | 25,0   | 30,9   | 30,0   | 30,8   | 30,2   | 37,9   | 32,7   | 40,1   | 42,0    | 45,0   | 40,8    | 20,0 | 30,0   | 12,2 | 18,5 |
| 41                | 3,9                    | 6,8  | 8,0  | 8,5  | 14,8   | 0,0    | 7,2    | 30,8   | 30,0   | 8,3    | 8,7    | 39,1   | 39,3   | [-3,7]  | 24,0   | 37,8    | 15,3 | 10,0   | 12,0 | 14,3 |
| 42                | 1,7                    | 4,6  | 12,5 | 4,8  | 21,6   | 25,7   | 30,0   | 18,5   | 28,4   | 35,9   | 37,6   | 20,1   | 32,0   | 27,0    | 45,9   | 40,8    | 18,6 | 36,1   | 8,4  | 16,4 |
| 45                | 4,1                    | 7,2  | 9,9  | 0,0  | 17,1   | 12,9   | 15,3   | 37,0   | 38,0   | 17,7   | 18,5   | 40,7   | 41,7   | [-4,1]  | 24,0   | 41,0    | 18,8 | 22,0   | 13,2 | 16,8 |
| 50                | 1,3                    | 3,0  | 0,0  | 2,8  | 10,3   | 11,6   | 13,7   | 10,3   | 14,3   | 10,7   | 17,5   | 11,0   | 10,2   | 15,4    | 24,0   | 19,9    | 8,8  | 10,6   | 4,6  | 8,0  |
| 51                | 1,8                    | 3,4  | 5,0  | 4,0  | 9,5    | 9,1    | 10,8   | 14,9   | 10,4   | 13,2   | 18,8   | 10,0   | 18,8   | 21,8    | 24,0   | 20,3    | 8,7  | 14,1   | 0,1  | 7,8  |
| 52                | 1,6                    | 2,0  | 4,9  | 4,3  | 8,4    | 0,5    | 7,7    | 10,7   | 17,2   | 0,0    | 9,4    | 18,2   | 17,7   | 23,4    | 24,0   | 19,4    | 8,0  | 11,4   | 0,4  | 7,4  |
| 53                | 1,4                    | 2,0  | 5,0  | 4,0  | 9,0    | 9,5    | 11,4   | 15,0   | 17,2   | 13,3   | 13,8   | 17,0   | 18,0   | 22,1    | 24,0   | 20,0    | 8,8  | 14,3   | 0,2  | 0,0  |
| 54                | 1,6                    | 2,7  | 5,0  | 4,3  | 8,5    | 0,9    | 7,8    | 10,8   | 17,4   | 8,1    | 9,5    | 18,3   | 18,9   | 23,0    | 24,0   | 19,5    | 8,1  | 11,6   | 0,9  | 7,5  |
| 55                | 2,8                    | 0,8  | 19,0 | 0,1  | 33,0   | [-1,1] | [-3,0] | 25,0   | 47,7   | [-3,8] | [-4,4] | 25,0   | [-3,0] | 37,2    | [-4,9] | [-6,0]  | 28,8 | [-4,0] | 11,8 | 25,5 |
| 56                | 2,0                    | 7,6  | 10,5 | 5,7  | 28,5   | 37,0   | [-1,1] | 24,1   | 41,2   | [-2,0] | [-2,5] | 24,3   | 41,5   | 34,5    | [-3,0] | [-4,3]  | 24,4 | 40,7   | 10,0 | 21,0 |
| 57                | 7,1                    | 12,4 | 15,8 | 15,8 | 27,2   | 0,0    | 0,0    | [-2,0] | [-2,0] | 0,0    | 0,0    | [-2,7] | [-2,7] | [-5,9]  | 0,0    | [-2,0]  | 0,0  | 31,9   | 0,0  | 25,2 |
| 58                | 7,1                    | 12,4 | 15,8 | 15,8 | 27,2   | 0,0    | 0,0    | [-2,0] | [-2,0] | 0,0    | 0,0    | [-2,7] | [-2,7] | [-5,9]  | 0,0    | [-2,0]  | 0,0  | 31,9   | 0,0  | 25,2 |
| 59                | 1,0                    | 3,3  | 7,2  | 2,3  | 12,3   | 10,3   | 19,4   | 9,4    | 17,0   | 22,3   | 23,4   | 10,1   | 18,9   | 14,1    | 28,6   | 24,1    | 11,0 | 20,5   | 4,4  | 8,1  |
| 60                | 1,1                    | 3,2  | 6,9  | 2,4  | 11,9   | 15,5   | 10,5   | 10,1   | 17,3   | 21,3   | 22,3   | 10,9   | 18,5   | 14,9    | 27,3   | 23,3    | 10,0 | 19,6   | 4,5  | 7,8  |
| 61                | 0,0                    | 0,0  | 7,5  | 7,6  | 12,8   | 0,0    | 0,0    | 31,5   | 31,5   | 0,0    | 0,0    | 33,8   | 33,8   | 44,0    | 0,0    | 32,5    | 0,0  | 15,1   | 0,0  | 10,2 |
| 62                | 0,0                    | 0,0  | 7,5  | 7,5  | 12,8   | 0,0    | 0,0    | 31,5   | 31,5   | 0,0    | 0,0    | 33,8   | 33,8   | 44,0    | 0,0    | 32,5    | 0,0  | 15,1   | 0,0  | 10,2 |
| 80                | 0,2                    | 29,8 | 28,8 | 29,8 | 28,8   | 0,0    | 0,0    | [-4,3] | [-4,3] | 0,0    | 0,0    | [-4,4] | [-4,4] | [-10,2] | 29,9   | [-4,3]  | 29,9 | 33,0   | 29,9 | 29,9 |
| 81                | 2,1                    | 6,4  | 14,0 | 4,7  | 24,1   | 31,4   | 37,4   | 19,0   | 34,6   | [-0,2] | [-0,7] | 19,7   | 34,8   | 35,9    | [-3,9] | 45,4    | 20,0 | 39,5   | 8,7  | 18,3 |
| 82                | 8,2                    | 8,2  | 8,2  | 8,2  | 11,4   | 8,2    | 8,2    | 33,5   | 33,5   | 8,2    | 8,2    | 30,0   | 30,0   | 40,3    | 8,2    | 35,7    | 14,4 | 17,1   | 12,6 | 13,5 |
| 83                | 2,3                    | 7,1  | 13,3 | 4,8  | 22,8   | 35,8   | [-0,7] | 21,3   | 38,8   | [-2,3] | [-2,8] | 22,8   | 41,0   | 31,4    | [-2,8] | [-4,5]  | 24,9 | 47,8   | 10,4 | 22,0 |
| 84                | 5,5                    | 6,5  | 8,3  | 8,3  | 14,3   | 5,5    | 6,6    | 37,7   | 37,7   | 5,5    | 5,5    | 40,0   | 40,0   | [-1,1]  | 5,7    | 33,9    | 13,7 | 19,4   | 14,3 | 15,3 |
| 85                | 2,7                    | 8,7  | 19,3 | 0,0  | 39,2   | [-1,8] | [-3,7] | 27,2   | [-3,0] | [-5,3] | [-5,8] | 29,5   | [-4,5] | 41,0    | [-5,9] | [-5,5]  | 27,5 | [-6,0] | 13,6 | 29,0 |
| 86                | 1,3                    | 2,2  | 3,3  | 2,7  | 5,6    | 5,8    | 8,3    | 11,3   | 11,9   | 7,3    | 7,7    | 12,1   | 12,0   | 15,0    | 24,0   | 12,8    | 5,6  | 7,7    | 3,8  | 5,2  |

<sup>(1)</sup> Los números negativos entre paréntesis indican la discriminación adicional necesaria.

## CUADRO 4

## Eficacias de modulación espectral

| Eficacia<br>(bit/s/Hz) | Portadora<br>deseada | Eficacia por grado de arco orbital de separación (bit/s/Hz/grado) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                        |                      | Portadora interferente                                            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                        |                      | 8                                                                 | 9     | 10    | 15    | 16    | 17    | 18    | 21    | 22    | 25    | 26    | 30    | 31    | 32    | 33    | 40    | 41    | 42    | 43    |
| 1,007                  | 8                    | 1,309                                                             | 1,007 | 1,007 | 1,516 | 1,100 | 1,007 | 1,190 | 0,095 | 0,379 | 0,054 | 0,273 | 0,340 | 2,778 | 1,180 | 3,333 | 1,007 | 0,833 | 1,007 | 1,515 |
| 1,130                  | 9                    | 0,308                                                             | 0,345 | 0,345 | 0,335 | 0,350 | 0,335 | 0,350 | [0]   | 0,022 | [0]   | 0,051 | 0,072 | 0,050 | 0,228 | 0,308 | 0,509 | 0,175 | 0,517 | 0,345 |
| 1,291                  | 10                   | 0,349                                                             | 0,445 | 0,391 | 0,380 | 0,403 | 0,300 | 0,403 | [0]   | 0,000 | [0]   | 0,056 | 0,082 | 0,068 | 0,258 | 0,349 | 0,679 | 0,205 | 0,645 | 0,430 |
| 0,244                  | 15                   | 0,072                                                             | 0,111 | 0,128 | 0,072 | 0,143 | 0,072 | 0,143 | 0,012 | 0,050 | 0,007 | 0,036 | 0,015 | 0,097 | 0,046 | 0,143 | 0,143 | 0,116 | 0,143 | 0,174 |
| 0,244                  | 16                   | 0,087                                                             | 0,102 | 0,111 | 0,108 | 0,084 | 0,100 | 0,084 | 0,005 | 0,017 | [0]   | 0,012 | 0,020 | 0,022 | 0,081 | 0,070 | 0,152 | 0,054 | 0,143 | 0,116 |
| 0,244                  | 17                   | 0,072                                                             | 0,111 | 0,111 | 0,074 | 0,143 | 0,072 | 0,143 | 0,012 | 0,050 | 0,007 | 0,036 | 0,015 | 0,097 | 0,046 | 0,143 | 0,143 | 0,097 | 0,143 | 0,152 |
| 0,244                  | 18                   | 0,087                                                             | 0,102 | 0,097 | 0,111 | 0,087 | 0,100 | 0,084 | 0,005 | 0,017 | [0]   | 0,012 | 0,020 | 0,022 | 0,004 | 0,073 | 0,152 | 0,047 | 0,135 | 0,087 |
| 1,200                  | 21                   | 0,070                                                             | 0,113 | 0,112 | 0,076 | 0,235 | 0,075 | 0,235 | [0]   | 0,075 | 0,027 | 0,092 | [0]   | 0,273 | 0,048 | 0,273 | 0,267 | 0,207 | 0,207 | 1,200 |
| 1,200                  | 22                   | 0,324                                                             | 0,324 | 0,324 | 0,387 | 0,316 | 0,307 | 0,316 | [0]   | 0,053 | [0]   | 0,049 | 0,094 | 0,051 | 0,283 | 0,293 | 0,522 | 0,152 | 0,400 | 0,300 |
| 0,800                  | 25                   | 0,037                                                             | 0,078 | 0,078 | 0,036 | 0,154 | 0,036 | 0,154 | [0]   | 0,036 | [0]   | 0,028 | [0]   | 0,296 | 0,023 | 0,296 | 0,242 | 0,111 | 0,242 | [-1]  |
| 0,800                  | 26                   | 0,210                                                             | 0,229 | 0,229 | 0,250 | 0,222 | 0,260 | 0,222 | [0]   | 0,038 | [0]   | 0,023 | 0,057 | 0,037 | 0,178 | 0,200 | 0,301 | 0,110 | 0,348 | 0,210 |
| 0,434                  | 30                   | 0,037                                                             | 0,096 | 0,121 | 0,036 | 0,109 | 0,030 | 0,103 | [0]   | 0,020 | [0]   | 0,014 | [0]   | 0,018 | 0,018 | 0,101 | 0,197 | 0,007 | 0,101 | 0,150 |
| 0,434                  | 31                   | 0,059                                                             | 0,001 | 0,000 | 0,083 | 0,060 | 0,083 | 0,050 | [0]   | [0]   | [0]   | [0]   | 0,028 | 0,000 | 0,087 | 0,086 | 0,082 | 0,031 | 0,083 | 0,005 |
| 0,434                  | 32                   | 0,029                                                             | 0,052 | 0,044 | 0,031 | 0,082 | 0,028 | 0,077 | [0]   | 0,019 | [0]   | 0,014 | [0]   | 0,019 | 0,018 | 0,072 | 0,096 | 0,052 | 0,096 | 0,099 |
| 0,434                  | 33                   | 0,040                                                             | 0,051 | 0,048 | 0,079 | 0,045 | 0,074 | 0,041 | [0]   | [0]   | [0]   | [0]   | 0,030 | [0]   | 0,085 | 0,030 | 0,070 | 0,023 | 0,069 | 0,042 |
| 0,714                  | 40                   | 0,075                                                             | 0,120 | 0,101 | 0,074 | 0,132 | 0,074 | 0,132 | [0]   | 0,032 | [0]   | 0,022 | 0,015 | 0,026 | 0,048 | 0,100 | 0,178 | 0,074 | 0,174 | 0,149 |
| 1,204                  | 41                   | 0,107                                                             | 0,176 | 0,154 | 0,104 | 0,268 | 0,104 | 0,258 | 0,036 | 0,112 | 0,028 | 0,089 | [0]   | 0,248 | 0,000 | 0,284 | 0,308 | 0,214 | 0,308 | 0,436 |
| 0,714                  | 42                   | 0,135                                                             | 0,193 | 0,162 | 0,146 | 0,169 | 0,140 | 0,150 | [0]   | 0,033 | [0]   | 0,022 | 0,031 | 0,027 | 0,000 | 0,102 | 0,255 | 0,078 | 0,238 | 0,168 |
| 1,190                  | 43                   | 0,088                                                             | 0,157 | 0,138 | 0,004 | 0,225 | 0,004 | 0,225 | 0,020 | 0,002 | [0]   | 0,004 | [0]   | 0,121 | 0,000 | 0,263 | 0,277 | 0,173 | 0,277 | 0,340 |
| 1,420                  | 50                   | 0,433                                                             | 0,540 | 0,549 | 0,440 | 0,040 | 0,440 | 0,040 | 0,040 | 0,149 | [0]   | 0,000 | 0,082 | 0,101 | 0,282 | 0,649 | 0,852 | 0,332 | 0,893 | 0,048 |
| 1,429                  | 51                   | 0,200                                                             | 0,397 | 0,397 | 0,276 | 0,606 | 0,226 | 0,696 | 0,000 | 0,170 | 0,031 | 0,121 | 0,050 | 0,213 | 0,179 | 0,671 | 0,714 | 0,370 | 0,714 | 0,752 |
| 0,714                  | 52                   | 0,130                                                             | 0,230 | 0,100 | 0,128 | 0,290 | 0,128 | 0,277 | 0,034 | 0,113 | 0,021 | 0,098 | 0,020 | 0,230 | 0,001 | 0,325 | 0,340 | 0,210 | 0,340 | 0,420 |
| 0,714                  | 53                   | 0,140                                                             | 0,240 | 0,190 | 0,137 | 0,200 | 0,137 | 0,200 | 0,020 | 0,002 | 0,015 | 0,050 | 0,028 | 0,105 | 0,000 | 0,286 | 0,357 | 0,183 | 0,357 | 0,357 |
| 0,714                  | 54                   | 0,130                                                             | 0,230 | 0,103 | 0,125 | 0,290 | 0,125 | 0,200 | 0,033 | 0,110 | 0,021 | 0,099 | 0,025 | 0,230 | 0,080 | 0,325 | 0,340 | 0,210 | 0,340 | 0,420 |
| 0,710                  | 55                   | 0,121                                                             | 0,110 | 0,114 | 0,171 | 0,105 | 0,171 | 0,105 | [0]   | 0,010 | [0]   | 0,015 | 0,053 | 0,017 | 0,107 | 0,076 | 0,179 | 0,050 | 0,183 | 0,101 |
| 0,710                  | 56                   | 0,117                                                             | 0,120 | 0,120 | 0,135 | 0,124 | 0,135 | 0,124 | [0]   | 0,021 | [0]   | 0,018 | 0,031 | 0,020 | 0,097 | 0,008 | 0,205 | 0,000 | 0,189 | 0,119 |
| 0,710                  | 57                   | 0,035                                                             | 0,051 | 0,051 | 0,034 | [-1]  | 0,034 | [-1]  | [0]   | [-1]  | [0]   | [-1]  | [0]   | [-1]  | [-1]  | [-1]  | [-1]  | 0,072 | [-1]  | 2,388 |
| 0,710                  | 58                   | 0,035                                                             | 0,051 | 0,051 | 0,034 | [-1]  | 0,034 | [-1]  | [0]   | [-1]  | [0]   | [-1]  | [0]   | [-1]  | [-1]  | [-1]  | [-1]  | 0,072 | [-1]  | 2,308 |
| 0,770                  | 59                   | 0,337                                                             | 0,353 | 0,353 | 0,554 | 0,337 | 0,457 | 0,207 | 0,017 | 0,050 | [0]   | 0,039 | 0,178 | 0,078 | 0,457 | 0,235 | 0,517 | 0,105 | 0,485 | 0,207 |
| 0,770                  | 60                   | 0,287                                                             | 0,337 | 0,337 | 0,308 | 0,353 | 0,323 | 0,299 | 0,018 | 0,050 | [0]   | 0,041 | 0,009 | 0,083 | 0,205 | 0,243 | 0,517 | 0,172 | 0,485 | 0,310 |
| 0,770                  | 61                   | 0,070                                                             | [-1]  | [-1]  | [-1]  | [-1]  | [-1]  | [-1]  | 0,027 | [-1]  | 0,023 | [-1]  | [-1]  | [-1]  | [-1]  | [-1]  | [-1]  | 3,881 | [-1]  | [-1]  |
| 0,770                  | 62                   | 0,070                                                             | [-1]  | [-1]  | [-1]  | [-1]  | [-1]  | [-1]  | 0,027 | [-1]  | 0,023 | [-1]  | [-1]  | [-1]  | [-1]  | [-1]  | [-1]  | 3,881 | [-1]  | [-1]  |
| 0,419                  | 80                   | 0,014                                                             | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,410 | 0,014 | 0,419 | [0]   | 0,014 | [0]   | 0,014 | [0]   | [-1]  | 0,012 | [-1]  | 4,194 | 0,014 | 1,398 | 1,040 |
| 0,419                  | 81                   | 0,087                                                             | 0,089 | 0,089 | 0,108 | 0,080 | 0,100 | 0,000 | [0]   | 0,015 | [0]   | 0,010 | 0,025 | 0,014 | 0,081 | 0,002 | 0,145 | 0,041 | 0,131 | 0,082 |
| 1,573                  | 82                   | 0,140                                                             | 0,192 | 0,192 | 0,140 | 0,192 | 0,140 | 0,192 | 0,052 | 0,159 | 0,043 | 0,147 | [0]   | 0,192 | 0,089 | 0,182 | 0,192 | 0,192 | 0,192 | 0,192 |
| 1,573                  | 83                   | 0,291                                                             | 0,350 | 0,281 | 0,304 | 0,287 | 0,384 | 0,207 | [0]   | 0,051 | [0]   | 0,036 | 0,101 | 0,043 | 0,315 | 0,190 | 0,583 | 0,128 | 0,524 | 0,254 |
| 1,400                  | 84                   | 0,119                                                             | 0,213 | 0,171 | 0,115 | 0,287 | 0,115 | 0,207 | 0,043 | 0,131 | 0,035 | 0,120 | [0]   | 0,207 | 0,074 | 0,207 | 0,207 | 0,244 | 0,207 | 0,207 |
| 1,400                  | 85                   | 0,219                                                             | 0,257 | 0,204 | 0,300 | 0,188 | 0,300 | 0,188 | [0]   | 0,036 | [0]   | [0]   | 0,083 | 0,030 | 0,208 | 0,135 | 0,370 | 0,091 | 0,341 | 0,181 |
| 1,442                  | 86                   | 0,400                                                             | 0,027 | 0,555 | 0,379 | 0,840 | 0,379 | 0,848 | 0,000 | 0,320 | 0,054 | 0,249 | 0,020 | 0,040 | 0,244 | 0,961 | 1,109 | 0,001 | 1,109 | 1,109 |

CUADRO 4 (Continuación)

| Eficacia<br>(bit/s/Hz) | Portadora<br>deseada | Eficacia por grado de arco orbital de separación (bit/s/Hz/grado) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                        |                      | Portadora interferente                                            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                        |                      | 50                                                                | 51    | 52    | 53    | 54    | 55    | 56    | 57    | 58    | 59    | 60    | 61    | 62    | 80    | 81    | 82    | 83    | 84    | 85    | 86    |
|                        | 8                    | 3,333                                                             | 1,190 | 0,575 | 1,615 | 0,340 | 0,200 | 0,219 | 0,379 | 0,201 | 0,100 | 0,107 | 0,382 | 0,222 | 0,200 | 0,089 | 0,172 | 0,303 | 0,200 | 0,463 | 0,450 |
|                        | 9                    | 0,759                                                             | 0,278 | 0,126 | 0,335 | 0,073 | 0,082 | 0,052 | 0,088 | 0,054 | 0,044 | 0,042 | 0,000 | 0,050 | 0,062 | 0,036 | 0,036 | 0,086 | 0,045 | 0,190 | 0,096 |
|                        | 10                   | 0,822                                                             | 0,323 | 0,154 | 0,403 | 0,090 | 0,069 | 0,058 | 0,008 | 0,061 | 0,050 | 0,048 | 0,091 | 0,057 | 0,067 | 0,039 | 0,045 | 0,100 | 0,050 | 0,235 | 0,118 |
|                        | 15                   | 0,143                                                             | 0,111 | 0,066 | 0,087 | 0,038 | 0,034 | 0,028 | 0,023 | 0,020 | 0,025 | 0,024 | 0,022 | 0,019 | 0,016 | 0,010 | 0,018 | 0,041 | 0,025 | 0,062 | 0,089 |
|                        | 16                   | 0,203                                                             | 0,070 | 0,032 | 0,097 | 0,018 | 0,014 | 0,012 | 0,023 | 0,013 | 0,010 | 0,010 | 0,021 | 0,012 | 0,010 | 0,008 | 0,010 | 0,021 | 0,011 | 0,051 | 0,032 |
|                        | 17                   | 0,143                                                             | 0,111 | 0,064 | 0,097 | 0,038 | 0,034 | 0,029 | 0,023 | 0,020 | 0,020 | 0,024 | 0,022 | 0,020 | 0,010 | 0,010 | 0,018 | 0,041 | 0,025 | 0,002 | 0,046 |
|                        | 18                   | 0,203                                                             | 0,070 | 0,032 | 0,097 | 0,019 | 0,014 | 0,012 | 0,023 | 0,013 | 0,011 | 0,010 | 0,022 | 0,013 | 0,010 | 0,000 | 0,000 | 0,021 | 0,011 | 0,051 | 0,025 |
|                        | 21                   | 0,279                                                             | 0,179 | 0,100 | 0,100 | 0,050 | [-1]  | 0,545 | 0,020 | 0,020 | 0,333 | 0,308 | [0]   | [0]   | [0]   | 0,205 | [0]   | 0,059 | 0,050 | 0,067 | 0,003 |
|                        | 22                   | 0,706                                                             | 0,240 | 0,110 | 0,333 | 0,004 | 0,054 | 0,045 | 0,080 | 0,040 | 0,038 | 0,030 | 0,070 | 0,044 | 0,000 | 0,031 | 0,034 | 0,075 | 0,039 | 0,176 | 0,005 |
|                        | 25                   | 0,833                                                             | 0,080 | 0,072 | 0,072 | 0,028 | [-1]  | [-1]  | [0]   | [0]   | [-1]  | [-1]  | [0]   | [0]   | [0]   | 0,090 | [0]   | 0,028 | 0,024 | 0,032 | 0,030 |
|                        | 26                   | 0,500                                                             | 0,170 | 0,078 | 0,229 | 0,030 | 0,035 | 0,030 | 0,054 | 0,012 | 0,027 | 0,020 | 0,054 | 0,032 | 0,030 | [0]   | 0,024 | 0,054 | 0,028 | 0,125 | 0,061 |
|                        | 30                   | 0,289                                                             | 0,074 | 0,035 | 0,069 | 0,019 | [-1]  | [-1]  | 0,007 | 0,000 | [-1]  | [-1]  | 0,007 | [0]   | [0]   | 0,011 | [0]   | 0,020 | 0,012 | 0,032 | 0,031 |
|                        | 31                   | 0,131                                                             | 0,041 | 0,018 | 0,060 | 0,011 | [0]   | [0]   | 0,014 | [0]   | [0]   | [0]   | 0,013 | [0]   | 0,009 | [0]   | [0]   | 0,012 | [0]   | 0,031 | 0,018 |
|                        | 32                   | 0,106                                                             | 0,053 | 0,031 | 0,038 | 0,018 | 0,019 | 0,016 | 0,009 | [0]   | 0,015 | 0,014 | 0,010 | [0]   | [0]   | 0,011 | [0]   | 0,019 | 0,013 | 0,026 | 0,021 |
|                        | 33                   | 0,111                                                             | 0,024 | 0,015 | 0,050 | [0]   | [0]   | [0]   | 0,012 | [0]   | [0]   | [0]   | 0,012 | [0]   | [0]   | [0]   | [0]   | 0,010 | [0]   | 0,025 | 0,012 |
|                        | 40                   | 0,265                                                             | 0,128 | 0,053 | 0,093 | 0,031 | 0,028 | 0,023 | 0,024 | 0,019 | 0,020 | 0,019 | 0,022 | 0,018 | 0,017 | 0,018 | 0,016 | 0,035 | 0,020 | 0,059 | 0,039 |
|                        | 41                   | 0,324                                                             | 0,186 | 0,147 | 0,149 | 0,085 | 0,211 | 0,170 | 0,035 | 0,036 | 0,162 | 0,145 | 0,032 | 0,032 | [0]   | 0,063 | 0,033 | 0,083 | 0,076 | 0,105 | 0,088 |
|                        | 42                   | 0,420                                                             | 0,159 | 0,057 | 0,149 | 0,033 | 0,028 | 0,023 | 0,030 | 0,024 | 0,020 | 0,019 | 0,030 | 0,022 | 0,020 | 0,016 | 0,017 | 0,038 | 0,020 | 0,088 | 0,044 |
|                        | 45                   | 0,290                                                             | 0,165 | 0,120 | 0,132 | 0,070 | 0,092 | 0,078 | 0,031 | 0,031 | 0,067 | 0,084 | 0,029 | 0,029 | [0]   | 0,050 | 0,029 | 0,071 | 0,054 | 0,080 | 0,073 |
|                        | 50                   | 1,099                                                             | 0,476 | 0,238 | 0,510 | 0,139 | 0,124 | 0,104 | 0,130 | 0,100 | 0,006 | 0,002 | 0,129 | 0,000 | 0,093 | 0,000 | 0,072 | 0,161 | 0,087 | 0,311 | 0,178 |
|                        | 51                   | 0,794                                                             | 0,420 | 0,255 | 0,357 | 0,150 | 0,157 | 0,132 | 0,006 | 0,007 | 0,100 | 0,104 | 0,085 | 0,077 | 0,066 | 0,000 | 0,070 | 0,164 | 0,101 | 0,234 | 0,181 |
|                        | 52                   | 0,470                                                             | 0,275 | 0,140 | 0,166 | 0,008 | 0,110 | 0,093 | 0,043 | 0,042 | 0,079 | 0,076 | 0,039 | 0,038 | 0,031 | 0,030 | 0,037 | 0,089 | 0,068 | 0,112 | 0,097 |
|                        | 53                   | 0,610                                                             | 0,275 | 0,128 | 0,178 | 0,074 | 0,076 | 0,063 | 0,040 | 0,042 | 0,054 | 0,051 | 0,042 | 0,038 | 0,032 | 0,030 | 0,035 | 0,001 | 0,050 | 0,115 | 0,089 |
|                        | 54                   | 0,476                                                             | 0,265 | 0,143 | 0,100 | 0,084 | 0,110 | 0,092 | 0,043 | 0,041 | 0,070 | 0,075 | 0,039 | 0,030 | 0,030 | 0,030 | 0,037 | 0,088 | 0,062 | 0,110 | 0,095 |
|                        | 55                   | 0,256                                                             | 0,081 | 0,037 | 0,117 | 0,021 | [0]   | [0]   | 0,028 | 0,015 | [0]   | [0]   | 0,028 | [0]   | 0,019 | [0]   | [0]   | 0,025 | [0]   | 0,061 | 0,028 |
|                        | 56                   | 0,276                                                             | 0,094 | 0,043 | 0,126 | 0,025 | 0,019 | [0]   | 0,030 | 0,017 | [0]   | [0]   | 0,029 | 0,017 | 0,021 | [0]   | [0]   | 0,029 | 0,015 | 0,068 | 0,033 |
|                        | 57                   | 0,101                                                             | 0,058 | 0,045 | 0,045 | 0,026 | [-1]  | [-1]  | [0]   | [0]   | [-1]  | [-1]  | [0]   | [0]   | [0]   | [-1]  | [0]   | [-1]  | 0,022 | [-1]  | 0,028 |
|                        | 58                   | 0,101                                                             | 0,058 | 0,045 | 0,045 | 0,026 | [-1]  | [-1]  | [0]   | [0]   | [-1]  | [-1]  | [0]   | [0]   | [0]   | [-1]  | [0]   | [-1]  | 0,022 | [-1]  | 0,028 |
|                        | 59                   | 0,776                                                             | 0,235 | 0,108 | 0,337 | 0,083 | 0,048 | 0,040 | 0,083 | 0,044 | 0,035 | 0,033 | 0,077 | 0,041 | 0,055 | 0,027 | 0,032 | 0,071 | 0,038 | 0,176 | 0,090 |
|                        | 60                   | 0,706                                                             | 0,243 | 0,112 | 0,323 | 0,065 | 0,050 | 0,042 | 0,077 | 0,045 | 0,030 | 0,035 | 0,071 | 0,042 | 0,052 | 0,028 | 0,033 | 0,073 | 0,040 | 0,172 | 0,100 |
|                        | 61                   | [-1]                                                              | [-1]  | 0,103 | 0,103 | 0,081 | [-1]  | [-1]  | 0,025 | 0,025 | [-1]  | [-1]  | 0,023 | 0,023 | 0,018 | [-1]  | 0,024 | [-1]  | 0,051 | [-1]  | 0,076 |
|                        | 62                   | [-1]                                                              | [-1]  | 0,103 | 0,103 | 0,081 | [-1]  | [-1]  | 0,025 | 0,025 | [-1]  | [-1]  | 0,023 | 0,023 | 0,018 | [-1]  | 0,024 | [-1]  | 0,051 | [-1]  | 0,076 |
|                        | 80                   | 2,097                                                             | 0,014 | 0,014 | 0,014 | 0,014 | [-1]  | [-1]  | [0]   | [0]   | [-1]  | [-1]  | [0]   | [0]   | [0]   | 0,014 | [0]   | 0,014 | 0,012 | 0,014 | 0,014 |
|                        | 81                   | 0,200                                                             | 0,066 | 0,030 | 0,089 | 0,017 | 0,013 | 0,011 | 0,021 | 0,012 | [0]   | [0]   | 0,021 | 0,012 | 0,012 | [0]   | 0,000 | 0,020 | 0,011 | 0,040 | 0,014 |
|                        | 82                   | 0,192                                                             | 0,192 | 0,192 | 0,192 | 0,130 | 0,192 | 0,192 | 0,047 | 0,047 | 0,192 | 0,192 | 0,044 | 0,044 | 0,034 | 0,192 | 0,044 | 0,108 | 0,092 | 0,125 | 0,117 |
|                        | 83                   | 0,604                                                             | 0,222 | 0,116 | 0,366 | 0,069 | 0,044 | [0]   | 0,074 | 0,040 | [0]   | [0]   | 0,069 | 0,038 | 0,050 | [0]   | [0]   | 0,063 | 0,033 | 0,151 | 0,072 |
|                        | 84                   | 0,267                                                             | 0,226 | 0,177 | 0,177 | 0,103 | 0,267 | 0,267 | 0,038 | 0,038 | 0,267 | 0,267 | 0,030 | 0,030 | [0]   | 0,257 | 0,043 | 0,107 | 0,076 | 0,103 | 0,096 |
|                        | 85                   | 0,543                                                             | 0,169 | 0,076 | 0,244 | 0,044 | [0]   | [0]   | 0,054 | [0]   | [0]   | [0]   | 0,050 | [0]   | 0,038 | [0]   | [0]   | 0,089 | [0]   | 0,108 | 0,051 |
|                        | 86                   | 1,109                                                             | 0,655 | 0,437 | 0,534 | 0,257 | 0,272 | 0,228 | 0,128 | 0,121 | 0,198 | 0,187 | 0,119 | 0,113 | 0,091 | 0,060 | 0,113 | 0,262 | 0,187 | 0,370 | 0,277 |

[-1] indica que se logra una separación de 0°.

[0] indica que es necesaria una discriminación adicional.

NOTA 1 – Se supone que las portadoras tienen una anchura de banda limitada.

## ANEXO 2

**Características técnicas de las redes del SFS en 20/30 GHz****1 Características técnicas de los VSAT en 20/30 GHz**

Se presentaron a la reunión del Grupo de Trabajo 4A de Radiocomunicaciones de marzo de 1996 las características de 10 redes de VSAT OSG. Se estableció un combinado utilizando los parámetros que concordaban con la mayoría de los sistemas y se verificó tal como se indica en el § 2 la compartición mutua. Dicho combinado se representa en el Cuadro 5. Algunos de los parámetros, tales como las cotas de antena se dedujeron de las contribuciones al Grupo de Trabajo 4A de Radiocomunicaciones y se verificó su necesidad en el análisis de compartición.

CUADRO 5

**Características técnicas genéricas de los VSAT en 20/30 GHz**

| Parámetro                                                                                            | Enlace ascendente      | Enlace descendente      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Transpondedor                                                                                        | Remodulación           | Remodulación            |
| Modulación                                                                                           | MDP-4                  | MDP-4                   |
| Codificación                                                                                         | No                     | Sí                      |
| Acceso                                                                                               | SCPC                   | MDT/AMDT                |
| $E_b/(N_0 + I_0)$ mínima del enlace                                                                  | 8,0                    | 6,0                     |
| Velocidad de datos típica (Mbit/s)                                                                   | 0,384                  | 100                     |
| Ganancia máxima de la antena del satélite (dBi)                                                      | 45                     | 45                      |
| Cotas de la antena del satélite                                                                      | Rec. UIT-R S.672       | Rec. UIT-R S.672        |
| Antena de la estación terrena (dBi)                                                                  | 45                     | 42                      |
| Cotas de la antena del terminal terreno                                                              | Rec. UIT-R S.672       | Rec. UIT-R S.672        |
| Temperatura de ruido (K)                                                                             | 600                    | 250                     |
| Potencia del transmisor (dBW)                                                                        | 0 máximo<br>-10 mínimo | 13 máximo<br>13 nominal |
| Control de potencia adaptable                                                                        | Sí                     | No                      |
| Margen del enlace (dB)                                                                               | 5-10 <sup>(1)</sup>    | 3-5 <sup>(1)</sup>      |
| Discriminación de la antena de la estación espacial terrena; enlace ascendente/descendente a 2° (dB) | 23                     | 20                      |
| Reutilización de frecuencias                                                                         | (2)                    | (2)                     |

(1) Depende del emplazamiento de la estación del terminal terreno en relación con la cresta del haz.

(2) No es evidente, pero por lo general, de unos 4:1-6:1 en los haces puntuales múltiples y no en la polarización.



## 2 Compartición entre los VSATS

Como puede verse en el Cuadro 5, las redes VSAT se basan en múltiples haces puntuales co-frecuencia para la reutilización de frecuencias, aunque no todos los haces pueden cursar las mismas frecuencias y polarización, pues se produciría una interferencia excesiva de haz adyacente. Por tanto, se estimó la interferencia interna del haz suponiendo al menos un factor de discriminación de transpolarización entre haces adyacentes. El objetivo de este análisis es determinar si es factible la compartición con sistemas VSAT similares que tienen separaciones de sólo 2°.

Se precisaban algunas hipótesis simplificadoras para lograr esta aproximación de primer orden de la viabilidad de la compartición con separaciones de 2°. Los márgenes del enlace se equilibraron minuciosamente para considerar que el control de potencia en el enlace ascendente era factible y práctico con un funcionamiento de un solo canal por portadora (SCPC), mientras que se dieron valores fijos a la potencia y a los márgenes del enlace descendente debido al funcionamiento MDT. Se eligió el máximo de 10 dB de desvanecimiento debido a la lluvia en el enlace ascendente para asegurar que un satélite adyacente no experimentaría una interferencia excesiva durante los desvanecimientos intensos ocasionales. En el enlace descendente se escogió un margen de desvanecimiento fijo de 5 dB, pues se consideraba que el margen aproximado con el que se logra una disponibilidad determinada congruente con los 10 dB en el enlace ascendente y con la codificación FEC era necesario para lograr el margen del enlace descendente.

La interferencia del haz adyacente,  $E_b/I_0$  de 18 dB se basaba en algunas estimaciones publicadas del diseño de un sistema particular. La compartición con antenas de 0,7 m y para separaciones de 2° sería prácticamente imposible sin que la interferencia interna a la red sea prácticamente la misma que la procedente de satélites adyacentes. Por tanto, se supuso que serían necesarias antenas de satélite de gran calidad como las que se describen en la Recomendación UIT-R S.672.

Los márgenes estáticos del enlace se calcularon de forma que el enlace ascendente fuese suficientemente capaz de absorber un aumento máximo ocasional de la potencia en el enlace procedente de una red adyacente. Es razonable suponer que el enlace descendente no experimentaría un desvanecimiento total al mismo tiempo que un satélite adyacente, por lo que, con un margen de desvanecimiento estático de 5 dB, se lograría la protección necesaria respecto a la interferencia de un satélite adyacente. La codificación en el enlace descendente era necesaria para aumentar los márgenes del enlace, pues el aislamiento de la antena no llega a 20 GHz para una apertura de tamaño fijo del terminal terreno.

En una primera aproximación, se estimó prudentemente que los ángulos topocéntricos serían igual al ángulo geocéntrico. Por último, las contribuciones a la interferencia procedentes de los satélites adyacentes en separaciones de 4° exigirían un estudio más detallado de las aperturas de gran calidad en la banda Ka. Es razonable suponer que se obtendría un aislamiento adicional comprendido entre unos 3 y 8 dB. De forma similar, los enlaces requerirían un análisis adicional si se consideraba una reutilización de frecuencias del 100% en un haz por medio de la compensación automática de la despolarización atmosférica. El aislamiento de polarización entre redes distintas es extremadamente difícil de estimar en estas frecuencias.

Con estas hipótesis, se determinan los parámetros de los enlaces VSAT que se indican en el Cuadro 6.

## CUADRO 6

## Cálculo de los enlaces VSAT para una separación de 2°

|                                                | Enlace descendente |                |                     | Enlace ascendente |                |                     |
|------------------------------------------------|--------------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------|---------------------|
|                                                | Lluvia             | Despejado      | Despejado           | Lluvia            | Despejado      | Despejado           |
| <i>Transmisor</i>                              | Cresta del haz     | Cresta del haz | Ajuste del satélite | Cresta del haz    | Cresta del haz | Ajuste del satélite |
| Frecuencia (GHz)                               | 19,9               | 19,9           | 19,9                | 29,7              | 29,7           | 29,7                |
| Potencia (dBW)                                 | 13,0               | 13,0           | 13,0                | 0,0               | -10,0          | -10,0               |
| Ganancia de antena (dB)                        | 45,0               | 45,0           | 45,0                | 45,0              | 45,0           | 22,0                |
| Pérdidas del circuito (dB)                     | 0,0                | 0,0            | 0,0                 | 0,0               | 0,0            | 0,0                 |
| Pérdidas de apuntamiento (dB)                  | 0,0                | 0,0            | 0,0                 | 0,0               | 0,0            | 0,0                 |
| p.i.r.e. (dBWi)                                | 58,0               | 58,0           | 58,0                | 45,0              | 35,0           | 12,0                |
| Densidad de la p.i.r.e. (dB(W/Hz))             | -22,0              | -22,0          | -22,0               | -10,8             | -20,8          | -43,8               |
| <i>Pérdidas del sistema</i>                    |                    |                |                     |                   |                |                     |
| Distancia oblicua (km)                         | 37 000,0           | 37 000,0       | 37 000,0            | 37 000,0          | 37 000,0       | 37 000,0            |
| Margen (dB)                                    | 0,0                | 0,0            | 0,0                 | 0,0               | 0,0            | 0,0                 |
| Espacio (dB)                                   | -209,8             | -209,8         | -209,8              | -213,3            | -213,3         | -213,3              |
| Atmósfera (dB)                                 | -0,5               | -0,5           | -0,5                | -1,0              | -1,0           | -1,0                |
| Lluvia (dB)                                    | -5,0               | 0,0            | 0,0                 | -10,0             | 0,0            | 0,0                 |
| Total (dB)                                     | -215,3             | -210,3         | -210,3              | -224,3            | -214,3         | -214,3              |
| <i>Receptor</i>                                |                    |                |                     |                   |                |                     |
| Señal recibida (dBWi)                          | -157,3             | -152,3         | -152,3              | -179,3            | -179,3         | -202,3              |
| Puntería/polarización (dB)                     | -0,4               | -0,4           | -0,4                | -0,9              | -0,9           | -0,9                |
| Ganancia de antena (dB)                        | 42,0               | 42,0           | 23,0                | 45,0              | 45,0           | 45,0                |
| Entrada al receptor (dBW)                      | -115,7             | -110,7         | -129,7              | -135,2            | -135,2         | -158,2              |
| Temperatura (K)                                | 250,0              | 250,0          |                     | 575,0             | 575,0          |                     |
| Densidad de ruido (dB(W/Hz))                   | -204,6             | -204,6         |                     | -201,0            | -201,0         |                     |
| Anchura de banda (dB(Hz))                      | 80,0               | 80,0           |                     | 55,8              | 55,8           |                     |
| Potencia de ruido (dBW)                        | -124,6             | -124,6         |                     | -145,2            | -145,2         |                     |
| $E_b/N_0$ del enlace (dB)                      | 8,9                | 13,9           |                     | 10,0              | 10,0           |                     |
| $E_b/I_0$ de haces adyacentes (dB)             | 18,0               | 18,0           |                     | 18,0              | 18,0           |                     |
| $E_b/I$ de satélites adyacentes (dB)           | 17,0               | 22,0           |                     | 26,0              | 26,0           |                     |
| $E_b/(N_0 + I)$ neta (dB)                      | 7,9                | 12,0           |                     | 9,3               | 9,3            |                     |
| $E_b/N_0$ requerida (dB)                       | 6,0                | 6,0            |                     | 8,0               | 8,0            |                     |
| Margen estático (dB)                           | 1,9                | 6,0            |                     | 1,3               | 1,3            |                     |
| <i>Otros</i>                                   |                    |                |                     |                   |                |                     |
| dfp requerida (dB(W/m <sup>2</sup> ))          | -124,4             | -124,4         |                     | -113,2            | -123,2         |                     |
| $G/T$ (dB(K <sup>-1</sup> ))                   | 18,0               | 18,0           |                     | 17,4              | 17,4           |                     |
| Densidad de potencia del transmisor (dB(W/Hz)) | -67,0              | -67,0          |                     | -55,8             | -65,8          |                     |
| Densidad de la p.i.r.e. (dB(W/Hz))             | -22,0              | -22,0          |                     | -10,8             | -20,8          |                     |
| Velocidad binaria (Mbit/s)                     | 100,0              | 100,0          |                     | 0,384             | 0,384          |                     |
| Discriminación de antena a 2° (dB)             | 19,0               | 19,0           |                     | 23,0              | 23,0           |                     |

Como puede verse, la separación de 2° es factible si el tamaño de la antena del terminal terreno es igual o superior a unos 0,7 m, de forma que pueda obtenerse una discriminación elevada con una separación de 2°. No obstante, los sistemas deben también ser moderadamente homogéneos en los márgenes del enlace.

### 3 Compartición entre los VSAT y los terminales mayores

Cabe prever que las bandas de 30/20 GHz sean útiles para el tráfico de larga distancia y gran velocidad de datos, pues los costes de los enlaces por satélite son relativamente insensibles a la distancia y de hecho, ya están en funcionamiento diversos sistemas OSG diseñados para este tipo de tráfico. Los Cuadros 7 y 8 muestran las características típicas de un terminal de este tipo obtenidas de la información con la que cuenta el Grupo de Trabajo 4A de Radiocomunicaciones y de las notificaciones del Apéndice 3 al RR publicadas.

CUADRO 7

#### Características técnicas genéricas de un gran terminal en 20/30 GHz

| Parámetro                                                                                    | Enlace ascendente | Enlace descendente |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------|
| Transpondedor                                                                                | Guiaondas acodado | Guiaondas acodado  |
| Modulación                                                                                   | MDP-4             | MDP-4              |
| Acceso                                                                                       | SCPC/AMDT         | SCPC/AMDT          |
| Mínima del enlace $E_b/(N_0 + I_0)$ (dB)                                                     | 20                | 10                 |
| Velocidad de datos típica (Mbit/s)                                                           | 120               | 120                |
| Antena del satélite (dBi)                                                                    | 51                | 47                 |
| Antena del terminal terreno (dBi)                                                            | 60,5              | 57,2               |
| Cotas de la antena del terminal terreno                                                      | Rec. UIT-R S.465  | Rec. UIT-R S.465   |
| Temperatura de ruido (K)                                                                     | 900               | 325                |
| Potencia del transmisor (dBW)                                                                | 22 máximo         | 11 saturado        |
| Control de potencia adaptable                                                                | No                | No                 |
| Margen del enlace (dB)                                                                       | 15 <sup>(1)</sup> | 10 <sup>(1)</sup>  |
| Discriminación de la antena de la estación terrena; enlace ascendente/descendente a 2° (dBi) | 21,5              | 25,5               |
| Control de potencia adaptable                                                                | No                | No                 |

<sup>(1)</sup> Se supone que los enlaces ascendente y descendente para el transpondedor transparente sufrirán raramente desvanecimientos intensos al mismo tiempo dada la gran separación geográfica.

Utilizando las características del Cuadro 7 se elaboraron muestras de enlaces que se resumen en el Cuadro 8.

CUADRO 8

**Compartición entre terminales grandes en banda Ka con separación de 2°**

|                                                | Enlace descendente |                |                     | Enlace ascendente |                |                     |
|------------------------------------------------|--------------------|----------------|---------------------|-------------------|----------------|---------------------|
|                                                | Lluvia             | Despejado      | Despejado           | Lluvia            | Despejado      | Despejado           |
| <i>Transmisor</i>                              | Cresta del haz     | Cresta del haz | Ajuste del satélite | Cresta del haz    | Cresta del haz | Ajuste del satélite |
| Frecuencia (GHz)                               | 19,9               | 19,9           | 19,9                | 29,7              | 29,7           | 29,7                |
| Potencia (dBW)                                 | 11,0               | 11,0           | 11,0                | 22,0              | 22,0           | 22,0                |
| Ganancia de antena (dB)                        | 47,0               | 47,0           | 47,0                | 60,5              | 60,5           | 21,5                |
| Pérdidas del circuito (dB)                     | 0,0                | 0,0            | 0,0                 | 0,0               | 0,0            | 0,0                 |
| Pérdidas de apuntamiento (dB)                  | 0,0                | 0,0            | 0,0                 | 0,0               | 0,0            | 0,0                 |
| p.i.r.e. (dBWi)                                | 58,0               | 58,0           | 58,0                | 82,5              | 82,5           | 43,5                |
| Densidad de la p.i.r.e. (dB(W/Hz))             | -22,8              | -22,8          | -22,8               | 1,7               | 1,7            | -37,3               |
| <i>Pérdidas del sistema</i>                    |                    |                |                     |                   |                |                     |
| Distancia oblicua (km)                         | 37 000,0           | 37 000,0       | 37 000,0            | 37 000,0          | 37 000,0       | 37 000,0            |
| Margen (dB)                                    | 0,0                | 0,0            | 0,0                 | 0,0               | 0,0            | 0,0                 |
| Espacio (dB)                                   | -209,8             | -209,8         | -209,8              | -213,3            | -213,3         | -213,3              |
| Atmósfera (dB)                                 | -0,5               | -0,5           | -0,5                | -1,0              | -1,0           | -1,0                |
| Lluvia (dB)                                    | -10,0              | 0,0            | 0,0                 | -15,0             | 0,0            | 0,0                 |
| Total (dB)                                     | -220,3             | -210,3         | -210,3              | -229,3            | -214,3         | -214,3              |
| <i>Receptor</i>                                |                    |                |                     |                   |                |                     |
| Señal recibida (dBWi)                          | -162,3             | -152,3         | -152,3              | -146,8            | -131,8         | -170,8              |
| Puntería/polarización (dB)                     | -0,4               | -0,4           | -0,4                | -0,9              | -0,9           | -0,9                |
| Ganancia de antena (dB)                        | 57,2               | 57,2           | 21,5                | 51,0              | 51,0           | 51,0                |
| Entrada al receptor (dBW)                      | -105,5             | -95,5          | -131,2              | -96,7             | -81,7          | -120,7              |
| Temperatura (K)                                | 325,0              | 325,0          |                     | 900,0             | 900,0          |                     |
| Densidad de ruido (dB(W/Hz))                   | -203,5             | -203,5         |                     | -199,1            | -199,1         |                     |
| Anchura de banda (120 MHz) (dB(Hz))            | 80,8               | 80,8           |                     | 80,8              | 80,8           |                     |
| Potencia de ruido (dBW)                        | -122,7             | -122,7         |                     | -118,3            | -118,3         |                     |
| $E_b/N_0$ del enlace (dB)                      | 17,2               | 27,2           |                     | 21,6              | 36,6           |                     |
| $E_b/I_0$ de haces adyacentes (dB)             | 30,0               | 30,0           |                     | 30,0              | 30,0           |                     |
| $E_b/I$ de satélites adyacentes (dB)           | 28,7               | 38,7           |                     | 27,0              | 42,0           |                     |
| $E_b/(N_0 + I)$ de enlace (dB)                 | 16,7               | 25,2           |                     | 20,0              | 28,9           |                     |
| $E_b/(N_0 + I)$ neta del receptor (dB)         | 16,1               | 23,6           |                     |                   |                |                     |
| $E_b/N_0$ requerida (dB)                       | 10,0               | 10,0           |                     | 20,0              | 20,0           |                     |
| Margen estático (dB)                           | 6,1                | 15,2           |                     | 0,0               | 8,9            |                     |
| <i>Otros</i>                                   |                    |                |                     |                   |                |                     |
| dfp requerida/MHz (dB(W/m <sup>2</sup> ))      | -125,2             | -125,2         |                     | -100,7            | -100,7         |                     |
| $G/T$ (dBi(K <sup>-1</sup> ))                  | 32,1               | 32,1           |                     | 21,5              | 21,5           |                     |
| Densidad de potencia del transmisor (dB(W/Hz)) | -69,8              | -69,8          |                     | -58,8             | -58,8          |                     |
| Densidad de la p.i.r.e. (dB(W/Hz))             | -22,8              | -22,8          |                     | 1,7               | 1,7            |                     |
| Velocidad binaria (Mbit/s)                     | 120,0              | 120,0          |                     | 120,0             | 120,0          |                     |
| Discriminación de antena a 2° (dB)             | 35,7               | 35,7           |                     | 39,0              | 39,0           |                     |

Como puede verse en el Cuadro 8 la  $E_b/I_0$  del satélite adyacente está comprendida entre 27 y 42 dB, dependiendo de si el canal sufre desvanecimientos o no. Evidentemente, pueden desplegarse de forma factible redes OSG en banda 20/30 GHz con antenas de terminal terreno del orden de 3 m que cursen tráfico de alta velocidad de datos punto a punto cada 2° a lo largo del arco.

En cuanto a la combinación de VSAT y terminales grandes, considérese la comparación del Cuadro 9. El Cuadro compara la densidad de la p.i.r.e. fuera del eje de 2°. Evidentemente, los niveles de interferencia en el enlace descendente son comparables, pero en el ascendente difieren en 6,5 dB. Se trata de una consecuencia natural en el caso del satélite con transpondedor acodado que lleva márgenes de enlace ascendentes fijos y del VSAT que utiliza control de potencia adaptable. Se precisaría algo más de equilibrio de los márgenes fijos para dar cabida a una mezcla de redes con márgenes de enlace ascendente fijos y control de potencia adaptable en el enlace ascendente.

Ello indica que es factible la compartición de los VSAT del arco con redes de enlaces troncales superiores y el mantenimiento de la separación de 2°. Como es probable que haya pocos terminales terrenos grandes de enlaces troncales respecto al número de los VSAT, podría lograrse algún aislamiento adicional mediante la separación geográfica de los terminales terrenos que utilizan la misma frecuencia.

CUADRO 9

**Comparación de los valores de la p.i.r.e. fuera del eje**

|                                  | Densidad de la p.i.r.e. en el enlace descendente (dB(W/Hz)) | Densidad de la p.i.r.e. en el enlace ascendente (dB(W/Hz)) |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Estación terrena de 3,0 m        | -22,8                                                       | -37,3                                                      |
| Estación terrena/(VSAT) de 0,7 m | -22,0                                                       | -43,8                                                      |

## ANEXO 3

**1 Glosarios****1.1 Glosario de abreviaturas**

|          |                                                                             |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|
| AMAD:    | Acceso múltiple con asignación por demanda                                  |
| AMDC:    | Acceso múltiple por división de código                                      |
| AMDF:    | Acceso múltiple por división de frecuencia                                  |
| AMDT:    | Acceso múltiple por división en el tiempo                                   |
| BER:     | Proporción de bits erróneos                                                 |
| CAMR:    | Conferencia Administrativa Mundial de Radiocomunicaciones (actualmente CMR) |
| CMR:     | Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (anteriormente CAMR)             |
| DEP:     | Densidad espectral de potencia                                              |
| DFP:     | Densidad de flujo de potencia ( $Wm^{-2}$ )                                 |
| DS-AMDC: | AMDC de secuencia directa                                                   |
| EOC:     | Borde de la zona de cobertura                                               |
| FEC:     | Corrección de errores directa                                               |
| FH-AMDC: | AMDC con salto de frecuencia                                                |
| GT 4A:   | Grupo de Trabajo 4A de Radiocomunicaciones                                  |

|           |                                                     |
|-----------|-----------------------------------------------------|
| MDP-2:    | Modulación por desplazamiento de fase bivalente     |
| MDP-4:    | Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura |
| MUMM:     | Multiusuario multimedia                             |
| OBP:      | Procesamiento a bordo                               |
| OSG:      | Órbita de los satélites geoestacionarios            |
| p.i.r.e.: | Potencia radiada isotropa equivalente (W)           |
| PCN:      | Red de comunicación personal                        |
| RTPC:     | Red telefónica pública conmutada                    |
| SFS:      | Servicio fijo por satélite                          |
| SMS:      | Servicio móvil por satélite                         |
| VSAT:     | Terminal de muy pequeña abertura                    |

## 1.2 Glosario de notación

|                 |                                                                                                                                    |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $B$ :           | anchura de banda de ruido del sistema (Hz)                                                                                         |
| $C$ :           | potencia de portadora (W)                                                                                                          |
| $C/I$ :         | relación entre la potencia de la portadora y la potencia de la interferencia                                                       |
| $(C/I)_D$ :     | relación de potencias de la portadora a la interferencia en el enlace descendente                                                  |
| $(C/I)_{tot}$ : | relación entre las potencias de la portadora y de la interferencia totales del enlace                                              |
| $(C/I)_U$ :     | relación entre las potencias de la portadora y de la interferencia en el enlace ascendente                                         |
| $C/N$ :         | relación entre la potencia de la portadora y la potencia del ruido                                                                 |
| $D$ :           | diámetro de la antena (m)<br>también, factor dinámico de la señal (distancia de desviación de una señal respecto a su valor medio) |
| $E_b$ :         | energía por bit de información                                                                                                     |
| $F$ :           | ganancia de procesamiento del sistema AMDC                                                                                         |
| $I$ :           | potencia de la interferencia (W)                                                                                                   |
| $I_0$ :         | DEP de la interferencia (W/Hz)                                                                                                     |
| $I_{0SN}$ :     | potencia de la interferencia de ruido propio del sistema AMDC (W)                                                                  |
| $I_{SN}$ :      | DEP de la interferencia de ruido propio del sistema AMDC (W/Hz)                                                                    |
| $m$ :           | número de portadoras/accesos simultáneos                                                                                           |
| $m_{máx}$ :     | número máximo de portadoras/accesos simultáneos al sistema                                                                         |
| $N_0$ :         | DEP del ruido (W/Hz)                                                                                                               |
| $N_{0TH}$ :     | densidad espectral de potencia del ruido térmico (gaussiano) (W/Hz)                                                                |
| $p$ :           | porcentaje del año durante el que se excede una determinada profundidad del desvanecimiento                                        |
| $R_b$ :         | velocidad binaria de información (bit/s)                                                                                           |
| $R_c$ :         | velocidad binaria del canal (bit/s)                                                                                                |
| $\Gamma$ :      | eficacia espectral de la modulación digital (bit/s/Hz)                                                                             |
| $\theta$ :      | ángulo geocéntrico de separación del satélite (grados)                                                                             |
| $\lambda$ :     | longitud de onda (m)                                                                                                               |
| $\varphi$ :     | ángulo respecto al eje de puntería de la antena (grados)<br>también, ángulo topocéntrico de separación del satélite (grados)       |

---